林鸣玉 高 睿 黄小勇 编著

电泳涂装

工艺与管理

SPM 南方出版传媒
广东科技出版社 | 全国优秀出版社
·广州·

CamScanner

前言

本书编写的目的是使从事电泳涂料与涂装的工作者在工作过程中能方便地查阅相关资料。

本书主要针对机械及五金行业的电泳涂装，内容包括前处理材料及电泳涂料、涂装施工工艺及管理、涂装生产过程中的涂膜弊病及防治、三废治理、电泳涂装应用实例等，图文并茂，简明扼要，方便读者查询及对照。

在编写过程中，参考了林鸣玉和王路路编写的《简明涂装工手册》、中国汽车工程学会涂装分会编印的《汽车涂装技术交流会论文集》、中涂学编印的论文集等部分优秀论文内容。在此对引用的优秀论文作者及支持本书编写、审校的有关同志表示衷心的感谢。

广东科德环保科技股份有限公司是全国较早的专业生产双组份阴极电泳涂料的高新技术企业，所生产的阴极电泳涂料广泛应用于汽车、家电、家具等领域，在国内享有“电泳涂料专家”的称号。

二十余年的电泳涂装应用实践，积累了丰富的现场管理经验和经典案例，培养了大批的行业精英人才，为电泳涂装的推广和发展做出了突出贡献，为此特编写此书作为广东科德环保科技股份有限公司成



CamScanner

立22周年的特别纪念。



在资料收集和编写过程中，由于编者水平有限，书中有不妥之处恳请读者提出宝贵意见。

本书编写时，参考了蓝花的《底面合一阴极电泳漆的性能及评价》，赵冉和宋华的《硅烷及磷化处理与电泳漆配套后性能对比》，宋华、赵冉、张澍和庞虹的《超高泳透力电泳涂料与新型前处理材料配套性研究》，薛浩然和许大勇的《新颖重型车架涂装前处理输送线》，吉学刚、苑立建和苏金忠的《客车整体电泳应用技术》，宋华主编的《电泳涂装技术》及《中国涂料涂装国际峰会暨专家年会论文集》《中国汽车工程学会涂装技术分会2011年汽车涂装技术交流会论文集》《中国汽车工程学会涂装技术分会2013年汽车涂装技术交流会论文集》等，在此一并致谢！



目录

Contents

第一章 概 论 / 1

第一节 电泳涂装的发展历史 / 3

第二节 电泳涂装的机理及特点 / 4

一、电泳涂装机理 / 4

二、阳极电泳与阴极电泳涂装 / 5

三、电泳涂装的特性 / 6

第二章 电泳涂料 / 9

第一节 电泳涂料的基本知识 / 9

一、电泳涂料的组成 / 9

二、电泳涂料各组份的功能 / 10

三、电泳涂料的制备 / 10

四、阳极及阴极电泳涂料的性能 / 20

五、底面合一阴极电泳漆 / 25

第二节 国内外电泳涂料的现状 / 29

第三节 电泳涂料的发展 / 31

CamScanner

第三章　电泳前处理工艺与管理　/ 38

第一节　电泳前处理工艺及设备　/ 38
一、涂装前表面处理的重要性　/ 38
二、前处理脱脂技术　/ 40
三、碱性水基清洗剂的组成　/ 40
四、清洗原理　/ 42
五、脱脂液除油设备　/ 44
六、除铁粉装置　/ 48
七、清洗的缺陷与对策　/ 49
八、超声波清洗　/ 50
九、脱脂技术的发展趋势　/ 51
第二节　金属除锈工艺　/ 52
一、机械除锈　/ 53
二、化学除锈　/ 56
第三节　磷化处理技术　/ 60
一、磷化的作用　/ 61
二、钢铁件磷化处理　/ 63
三、表面调整机理　/ 64
四、磷化工艺及控制　/ 65
五、磷化膜的质量　/ 71
六、有色金属磷化处理　/ 75
七、磷化常见的缺陷与对策　/ 79
八、磷化渣产生的影响因素　/ 80
九、钝化　/ 81

CS CamScanner

十、磷化膜与阴极电泳涂膜的配套性 / 82
十一、磷化工艺及设备 / 83
第四节 前处理技术的发展 / 92
一、现有脱脂磷化改进 / 92
二、无镍磷化工艺 / 93
三、氧化锆处理技术（又称纳米陶瓷锆盐技术） / 95
四、硅烷化处理技术 / 97
五、氧化锆硅烷复合膜（下称硅烷复合膜）技术的应用工艺 / 99
六、硅烷复合膜及磷化处理与电泳漆配套后性能 / 102
七、工艺管理 / 110
第五节 有色金属其他前处理 / 115
一、阳极氧化 / 115
二、有色金属件的铬酸盐处理膜 / 116

第四章 电泳涂装工艺及管理 / 119

第一节 电泳涂装工序及工艺 / 119
第二节 涂装现场管理 / 121
一、阴极电泳涂装线的主要管理项目 / 121
二、电泳槽工艺项目的影响 / 125
三、阴极电泳涂装线上发生的问题及原因和对策 / 130
四、CED涂膜理化性能 / 133

CamScanner

第五章 阴极电泳涂装设备 / 134

第一节 电泳槽及其附属设备 / 134
一、电泳槽及备用槽 / 135
二、电泳槽的循环过滤系统 / 137
三、超滤工艺 / 140
四、加料系统 / 143
五、电泳槽液温控系统 / 144
六、电泳用直流电源及阳极系统 / 145
七、电泳后水洗系统 / 149
八、滴干区—晾干通道 / 154
第二节 电泳线生产准备 / 154
一、电泳槽配槽步骤 / 154
二、电泳槽的维护 / 157
三、电泳漆换型 / 158

第六章 涂装工件的运输方式及设备 / 160

第一节 涂装工件的运输 / 160
一、涂装生产中机械化运输设备的作用 / 160
二、涂装线的输送方式 / 161
三、输送设备设计 / 163
第二节 悬挂式输送设备 / 165
一、普通悬挂输送机 / 165
二、积放式悬挂输送机 / 165

CamScanner

第三节　自行电葫芦及程控行车　/ 167
一、自行电葫芦　/ 167
二、龙门式程控行车　/ 169
第四节　摆杆输送系统　/ 170
第五节　全旋反向输送机（Ro-DIP输送机）　/ 171
第六节　多功能穿梭输送机　/ 173
第七节　运输设备应用　/ 175
一、前处理电泳工序　/ 175
二、烘干工序　/ 178
三、电控装置　/ 178
四、全车间输送系统设计与使用管理　/ 179

第七章　电泳烘干设备　/ 183

第一节　漆膜的固化　/ 183
一、加热方式　/ 183
二、涂膜固化类型　/ 186
三、烘干室的类型　/ 186
第二节　烘干室的组成　/ 188
一、烘干室实体　/ 188
二、烘干室出入口　/ 188
三、热传送系统　/ 189
四、高红外加热技术　/ 192
五、涂层快速固化炉设计条件　/ 193
六、烘干室的维护保养　/ 193

CamScanner

第三节　强冷室　/ 194

第八章　电泳涂装的漆膜弊病及防治　/ 196

第一节　常见电泳涂装漆膜弊病及防治　/ 196
第二节　电泳涂装质量检查要点　/ 199

第九章　电泳涂料、电泳槽液及涂膜性能检测方法　/ 203

第一节　电泳涂料、电泳槽液及工艺性能检测方法　/ 203
　　一、国标及行业标准检测方法　/ 203
　　二、电泳涂装新检测方法　/ 203
第二节　电泳漆膜性能测定方法　/ 219

第十章　电泳涂装的“三废”处理技术　/ 226

第一节　涂装车间“三废”的来源　/ 226
第二节　有关“三废”及环保的标准　/ 229
　　一、国家污水排放标准　/ 229
　　二、各国涂料（涂膜）环保标准要求　/ 230
第三节　“三废”治理的措施　/ 232
　　一、减少涂装材料中有害物质的含量　/ 233
　　二、减少“三废”排放措施　/ 234
　　三、涂装系统的“三废”处理　/ 236

CamScanner

第十一章　电泳涂装应用实例　/ 248

第一节　汽车涂装　/ 248
第二节　客车整体电泳应用技术　/ 263
第三节　拖拉机及农业机械涂装　/ 268
第四节　家用电器的涂装　/ 269
附录A　石击特性值1~10的标准图片　/ 274
附录B　电泳涂料、涂膜质量检测方法　/ 276

CamScanner



第一章 概 论

涂料是一种流动状态或粉末状态的有机混合物。所谓涂装，是指将涂料涂覆到清洁的（即表面通过预处理的）被涂物基底表面上，经过干燥而形成具有防护、装饰或某种特定功能涂膜的工艺过程。

涂装工艺，一般由涂装前表面预处理（包括物理处理和化学处理）、涂覆、干燥（空气中干燥或烘干设备中烘干）等三道基本工序组成。涂覆一道涂料所得到的连续膜层，称为涂层。涂覆二道或多道涂料所得到的连续膜层，则称为涂膜。

涂膜具有如下3个方面的作用：

1. 保护作用

在金属或非金属表面涂覆的一层具有一定的耐潮湿性、耐化学药品性、耐油性、耐候性的涂层，对物体能起到防止雨、露、阳光、风化及各种介质侵蚀和腐蚀的作用。例如汽车车身，在采用优质的涂料和正确的涂装工艺进行涂装后，能在各种气候条件下使用10年完好无损。反之，相同厚度的未经涂装的钢板，一年即被锈蚀穿孔。

2. 装饰作用

涂装可以使物体具有符合人们要求的色彩、光泽、立体感，给

CamScanner

人以美好舒适的感觉。

3. 特种功能

涂装能使物体获得热、电传导性的要求，或具有杀菌、示温、波（光、声）的发射和吸收、夜光等作用。在美化环境的同时，既能起到色彩调节心理和生理的作用，以改善车间、医院、船舶、车辆等的内部环境，又能在一定程度上起到防止灾害和增进效益的作用。

机电产品如汽车、家电产品通过涂装，不但获得保护作用，而且提高了它们的商品价值。

机械工业涂装技术的主要发展趋势有以下几个方面：

1）为适应市场竞争的需要，努力提高产品涂膜外观装饰性、多色彩化和增加立体感等。

2）控制产品涂装生产过程中带来的环境污染，涂料向水性化、高固体份化和粉末涂料方向发展，施工采用自动静电涂装及电泳涂装。

3）尽可能提高涂装生产效率，减少材料及能源消耗，降低成本。

总之，工业涂装的发展方向是要求在不增加成本的前提下，不断地提高产品质量，减少环境污染，降低能源消耗。

要使工业涂装的质量达到产品的要求，从产品设计环节开始就要考虑，应从涂装材料、涂装工艺和涂装管理这3个要素入手，精心设计并实施。

涂装材料的质量和作业配套性是获得优质涂膜的基本条件。材料选择不好，不但涂装质量达不到预期的效果，而且还会增加涂装成本。例如大型桥梁涂装，由于涂装成本大于涂料成本，如果选择低档涂料，往往三五年内就要再涂装一次。如果选择了高质量的涂料，尽管一次涂装的材料成本要高一些，但可以10年涂装1次，不仅提高了涂膜质量，而且降低了涂装的综合成本。如1mm厚度的钢板采用阴极电泳涂装20μm厚度的漆膜，可以做到10年无锈蚀，因此耐蚀性要求高的产品多采用阴极电泳涂装。

涂装技术是充分发挥涂装材料性能、获得优质价廉涂膜的必要条件。涂装技术要考虑涂装工艺及设备的合理性、实用性和先进性。应根据产品对涂层的质量要求，合理选用不同的涂装工艺和设备。

涂装管理是确保工艺的正确实施，且达到涂装目的和漆膜质量的重要条件。涂装管理，包括工艺管理、设备管理、现场环境管理、产品质量管理及人员管理等。目前，国内的某些行业的涂装工艺和设备与国外差距不大，但管理方面落后，使涂装质量差距较大。

上述三要素是互相依存、互相制约的关系，忽略任何一方面都不可能达到优质涂装的目的。

第一节 电泳涂装的发展历史

电泳涂装是工业涂装中运用较为普遍的一种涂装方法，它广泛地应用于汽车、家用电器及五金行业，如汽车车身几乎100%采用电泳涂装底漆。电泳涂装是将具有导电性的被涂物浸入水溶性的涂料（涂料树脂做成水溶性的阴离子或阳离子）槽中作为阳极或阴极，在槽中另设置与其相对应的阴极或阳极，在两极间通入直流电，使之在被涂物上析出均一、水不溶的涂膜的一种涂装方法。

被涂物作为阳极，称为阳极电泳。涂料树脂为阴离子型，简称AED涂料。

被涂物作为阴极，称为阴极电泳。涂料树脂为阳离子型，简称CED涂料。

电泳涂装因其具有高效、优质、安全环保、经济等优点，已在机械行业、五金家电行业获得广泛的应用。

电泳涂装已有50多年的历史，早在1809年，俄国化学家列斯首

CamScanner

先发现了胶体粒子在电场作用下产生电泳的现象。1960年，英国的卜内门公司与里兰公司共同研制成功阳极电泳涂料。1963年，福特汽车公司建立了世界上第一条完整的电泳涂装线。1969年，美国在电泳涂装线上成功引入超滤技术。1971年，第一代阴极电泳漆在通用汽车公司投入使用。1976年，第二代阴极电泳漆在通用公司成功应用。

日本和英国1977年由美国引进阴极电泳漆制造技术后，其汽车涂装从1978—1979年向阴极电泳涂装转化。20世纪80年代中期，美国、德国、日本等成功开发了厚膜型阴极电泳涂料，目前已发展到第五六代阴极电泳涂料，满足了各行业对阴极电泳漆的要求。

1986年7月，中国第一条汽车驾驶室阴极电泳涂装线在中国一汽投产，开创了机械行业大规模运用阴极电泳涂装的先河。

国内除一部分合资企业外，还有借鉴国外技术并通过自行开发而形成大型的阴极电泳涂料生产企业如广东科德环保科技股份有限公司等，为我国电泳涂料发展作出了贡献。广东科德环保科技股份有限公司生产的阴极电泳涂料从1995年开始在东风汽车公司的一条汽车驾驶室涂装线获得应用。

第二节　电泳涂装的机理及特点

一、电泳涂装机理

电泳涂料分为阳极电泳涂料与阴极电泳涂料。

无论是阳极电泳涂料还是阴极电泳涂料，涂料树脂均为水溶性的阴离子或阳离子，配制成电泳槽液，涂装过程是将工件浸入槽中，通以直流电，电泳涂装过程中伴随着电解（水电解）、电泳

CamScanner

（正负离子移向对应的电极）、电沉积（树脂和颜料在电极上沉积）和电渗（在电场力的作用下，涂膜内所含的水渗析出来）等4个过程（见表1-1）。

表1-1　阴极电泳和阳极电泳涂装的反应机理

阳极电泳（阴离子型）	阴极电泳（阳离子型）
O_2　OH^-　$-R-COO^-$　H^+　H_2　$R-NH_3^+$ 中和剂：KOH，有机胺类	H_2　H^+　$-R-NH_3^+$　OH^-　O_2　$-R-COO^-$ 中和剂：有机酸
在pH值下降时析出	**在pH值上升时析出**
阳极（被涂物） $2H_2O \rightarrow 4H^+ + 4e^- + O_2\uparrow$ $R-COO^- + H^+ \rightarrow R-COOH$ （水溶性）　　（水不溶性） $M_e \rightarrow M_e^{n+} + ne^-$（涂膜沉积） $RCOO^- + M_e^{n+} \rightarrow (R-COO)_nM_e$ （析出）	阴极（被涂物） $2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H_2\uparrow$ $R-NH^+ + OH^- \rightarrow R-N + H_2O$ （水溶性）（水不溶性析出） （涂膜沉积）
阴极（极板） $2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H_2\uparrow$	阳极（极板） $2H_2O \rightarrow 4H^+ + 4e^- + O_2\uparrow$

二、阳极电泳与阴极电泳涂装

表1-2列出了阳极电泳涂装与阴极电泳涂装的涂装工艺质量要求比较。

CamScanner

表1-2 阳极电泳涂装与阴极电泳涂装的涂装工艺质量要求比较

项目		阳极电泳涂料	阴极电泳涂料
涂装工艺	对复杂工件的泳透性	泳透率低，对结构复杂零件内部涂膜薄，甚至复杂部位难以上漆	泳透率高，车身等复杂零件内部、焊缝等涂膜完整，较厚
	电能消耗	库仑效率低（15mg/c）	库仑效率高，一般≥25mg/c
	烘干温度	一般要求180℃（工件温度）/20min	优质的低温固化阴极电泳漆烘干温度为140 ℃（工件温度）/20min
涂膜质量	对底材的影响	涂装过程中易产生阳极溶解，使涂膜对底材的附着力和防腐蚀性能有所影响	涂装过程不产生阳极溶解，使涂膜对底材的附着力和防腐蚀性能有所提高
	耐腐蚀性	最好的聚丁二烯阳极电泳涂膜（20±2um），耐盐雾性能仅为360h，其他的只有几十小时	阴极电泳涂膜（20±2um），耐盐雾性≥800h
涂装成本	材料成本	单价较低，绝大多数用国产材料生产，涂装利用率低（沉淀，过滤的渣多）	利用率较高，如果考虑满足防腐性，与阳极电泳漆相比降低膜厚，消耗定额降低
	设备成本	槽液为碱性，对设备腐蚀性小，防腐要求较低	槽液为弱酸性，槽体要求普通钢（不锈钢）涂玻璃钢防腐或塑料板焊接

三、电泳涂装的特性

1. 电泳涂装的优点

根据电泳涂装工艺的过程，电泳涂装有如表1-3的优点：

CamScanner

表1-3 电泳涂装法的优点

项 目	优 点
1. 涂底漆工序可完全实现自动化，适用于大流水线生产	从涂装前预处理到电泳底漆烘干能实现流水线生产
2. 可得到均一的涂膜	通过调整电量可以得到均一的膜厚，靠选择电泳涂料的品种和调整泳涂工艺参数，膜厚可控制在（10～35）μm范围内。 工件间和不同日期所沉积的涂膜（膜厚及性能）能得到重现。 与水性浸涂法不同，在烘干时缝隙间的涂膜不会产生“溶落”现象。
3. 泳透（力）性好，提高了工件内腔的防腐蚀性，尤其是阴极电泳涂膜的耐腐蚀性好	可使喷涂、浸涂等涂装方法所涂装不到的部位和涂料难以进入的部位能涂上涂层，且缝隙间的涂膜在烘干时不会被蒸汽洗掉，因而使工件内腔、缝隙、边缘等处的耐腐蚀性显著提高。 阴极电泳涂膜的耐腐蚀性在500h以上，甚至高达1 000h以上。
4. 涂料的利用率高	与喷涂法等相比，涂料的有效利用率可高达95%以上。 槽内涂料是低固体分的水稀释液，黏度小，带出槽外的少。 泳涂的湿涂膜不是水溶性的，电泳后可采用UF液封闭水洗回收带出槽的涂料液。
5. 安全性比较高，是低公害涂装（涂料）	与其他水溶性涂料相比，溶剂含量少，浓度低，无火灾危险。 涂料回收率高，溶剂含量低，对水质和大气污染少，所以电泳涂料是低公害涂料。 采用UF和RO装置，可实现电泳后的全封闭水洗，因而大大减少废水的处理量。
6. 电泳涂膜的外观好，烘干时有较好的展平性	电泳涂装所得的涂膜含水量少，溶剂含量也少，在烘干过程中不会像其他涂料那样产生流痕、溶落、积漆等弊病 电泳水洗后的涂膜含水量低，甚至手摸也不粘手，可缩短晾干时间，也可直接进入高温烘干

注：UF为超滤装置，RO为反渗透制纯水装置。

CS CamScanner

2. 电泳涂装的不足

1）被涂物件必须导电。

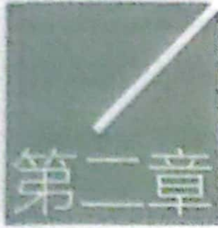
2）被涂物件必须浸泡在电泳槽液里，故超大的物件（如船舶、超大车辆等）难以适用。

3）在要求涂装多种不同颜色的场合，有几种色，就需要几个电泳槽液，不能适用于多色彩涂装。

4）槽液中的涂料寿命比较短（存在更新期），只适应大批量的涂装，小量的涂装则不适应。

5）在已有涂膜的物件上不能进行涂装，即不能用于中涂、面涂。过去有人在第一层电泳涂膜中加入石墨粉，烘干后形成导电膜再进行二次电泳，但因底涂层导电对防腐蚀性能没有升高反而下降。

CamScanner



电泳涂料

第一节　电泳涂料的基本知识

一、电泳涂料的组成

阳极电泳涂料的树脂为羧酸型水不溶型树脂，经碱中和后形成水溶性阴离子。阴极电泳涂料为水不溶性胺基环氧型树脂，经酸中和后形成水溶型的阳离子。二者组成差别见表2-1。

表2-1　涂料组成的比较

序号	项目	阳极电泳涂料	阴极电泳涂料
1	树脂	含羧基的合成树脂，以聚丁二烯系树脂为代表	环氧、聚酰胺树脂（含胺基NH_2的合成树脂）
2	固化剂	无	封闭型异氰酸酯树脂
3	中和剂	KOH、有机胺	有机酸、无机酸
4	槽液	碱性（水溶性—分散体）	弱酸性（水溶性—乳化体）
5	漆膜	酸性	碱性

CS CamScanner

二、电泳涂料各组份的功能

电泳漆由水溶性树脂、颜填料及各种助剂组成，为了方便电泳槽液中各组份的调整，制造厂将上述各组份分别制造成成品，在使用过程中根据测试的结果，按不同的比例加入以达到槽液中各组份的平衡（表2–2）。

表2–2　双组份阴极电泳漆的组成及各组成的用途

	项目	主要组成及用途
制漆组份	基础树脂	环氧聚酰氨改性或聚脂改性树脂
	交联树脂	封闭型异氰酸酯树脂，氨基树酯
	中和剂	有机酸
	调整溶剂	醇、醇醚和酮类溶剂
成品组成	色浆	主要为颜料、分散树脂
	乳液	主要为基础树脂和交联树脂等树脂
	中和剂	有机酸，用于调整槽液pH值和MEQ值
	补给溶液	用于调节槽液溶剂含量

三、电泳涂料的制备

1. 阳极电泳涂料

阳极电泳涂料的主体树脂是含有羧基的高分子聚合物，经过氨、胺或氢氧化钾等中和后形成水可溶性的羧酸盐，再配以适当的颜料、填料及助剂、溶剂经研磨分散而制成的单组份涂料。

阳极电泳涂料的树脂在水中形成阴离子型树脂离子而溶于水。常用的有纯酚醛阳极电泳涂料、聚丁二烯阳极电泳涂料等。由于其耐候性能不良，一般作为底漆层或耐候性要求不高的底面合一涂层。丙烯酸阳极电泳漆耐候性较好，但防腐蚀性能较差。在阳极电泳涂料中以聚丁二烯阳极电泳涂膜的防腐蚀性能最好。图2–1以聚

CamScanner

丁二烯阳极电泳漆为例，采用聚丁二烯树脂经顺丁烯二酸酐化反应生成含羧基的树脂。

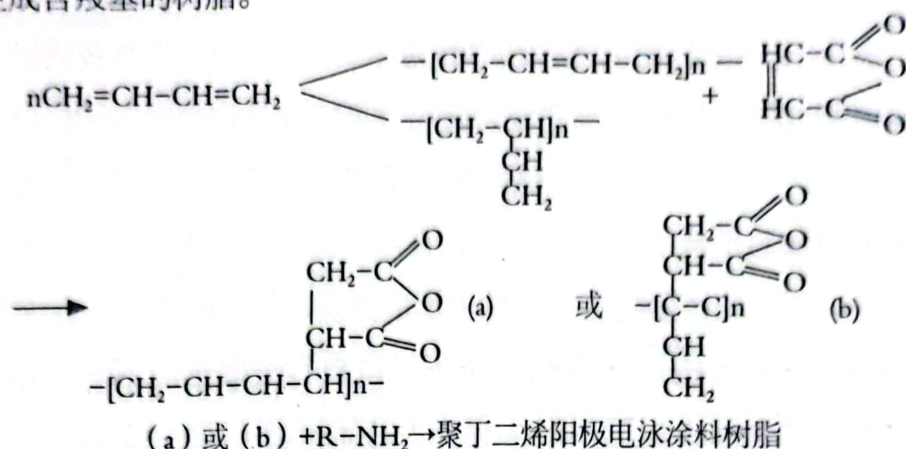


图2-1 聚丁二烯阳极电泳漆树脂反应

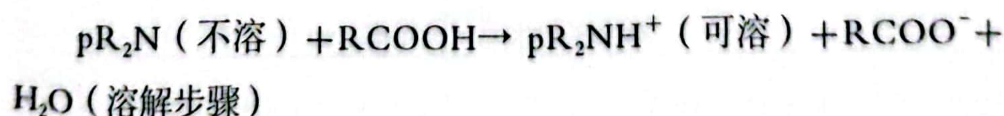
2. 阴极电泳涂料

阴极电泳（阳离子型）涂料代替阴离子型的阳极电泳涂料普及应用的一个最大理由是防腐蚀性优异。尚未发现其他类型的涂料比其更好。

阳极电泳过程也是金属工件的电化学阳极溶解过程。溶解后的金属离子及磷化膜的成分通常也会包含在涂膜中，在固化时会使表面产生红锈。这会造成防腐能力的降低。

阴极电泳不存在此问题。由于阴极电泳的涂层的外观及防锈性能等优秀，所以目前阴极电泳涂料逐步取代阳极电泳涂料，得以广泛应用。

阴极电泳的电化学原理和阳极电泳相似，但电极功能则相反。电沉积在相反极性的电极上发生。反应步骤相同，阴极电泳中的化学反应步骤为：



pR_2N（不溶）$+RCOOH \rightarrow pR_2NH^+$（可溶）$+RCOO^-+H_2O$（溶解步骤）



$2H_2O+2E^- \rightarrow H2+2OH^-$ （阴极反应）

续表

体系	欧洲体系	美洲体系
固化剂	可不同	R_3COCN—(环己基)—$NCOOR_4$
成膜	[—O—]—HNCO—(环己基)—HNCO—O—[—O—]n	[—O—]n—HNCO—(环己基)—HNCO—O—[—]n
挥发物	$-N(R_1)(R_2)$ 或（ROH）	$—OR_3$

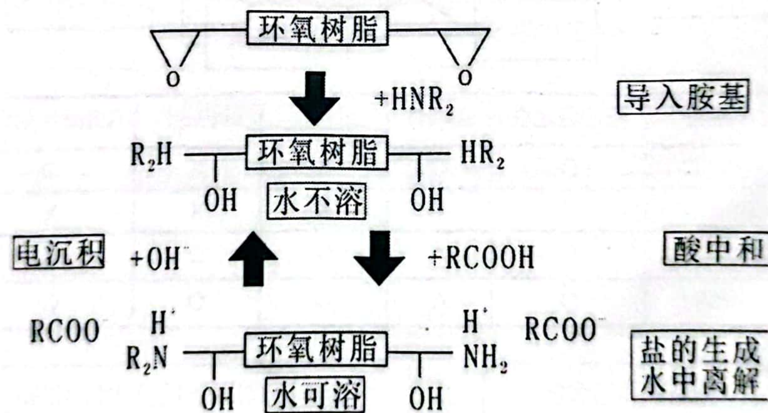


图2-2　阴极电泳涂料树脂阳离子水溶、水不溶原理

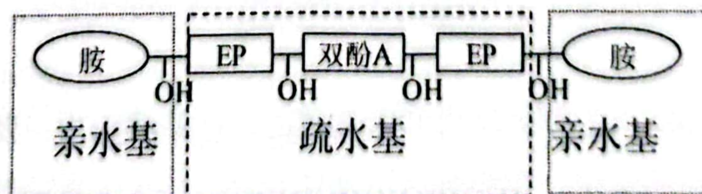


图2-3　基体树脂结构

$$pR_2NH^+（可溶性）+OH^- \rightarrow pR_2N（不可溶）+H_2O$$

（沉积步骤）

阴极电泳涂料的主体树脂原料为环氧树脂，通过聚酰胺树脂、聚脂树脂或丙烯酸树脂改性成为防腐蚀型或兼具耐候性的阴极电泳涂料树脂，如表2-3所示。这些树脂都带有胺基基团，在制漆过程中用酸中和后形成水溶性阳离子，在电泳过程中，由于电化学反应又变成水不溶的树脂附着在工件上形成漆膜。其原理如图2-2。

阳极电泳漆树脂在高温烘干下可以自行交联形成不溶不熔的漆膜，阴极电泳漆树脂不同，它分为基体树脂（图2-3）和固化剂（图2-4）。其基体树脂中含有羟基和活泼性氢，而固化剂中含有多异氰酸基团，但异氰酸基团非常活泼，能与水中的氢进行反应，因此作为阴极电泳漆固化剂的异氰酸酯必须用含有羟基或活泼氢的有机物如醇、醚或含氨基的化合物进行封闭，使其成为不能与水或醇类起反应的封闭基团。在烘干过程中封闭物解封出异氰酸基团，与基体树脂分子反应，形成漆膜。

表2-3　阴极电泳漆基础树脂结构

体系	欧洲体系	美洲体系
树脂	(O) -[—(OH)—]n- (O)	同左
引入NH_2	R1, R2 > N —(OH)— [—(O)—] ; O–HNCO–(环己基)–HNCOORN < R3, R4	R1, R2 > N —(OH)— [—(OH)—]n —(oH)— N < R1, R2
中和	（上式）.（AC）$_3$	（上式）.（AC）$_2$

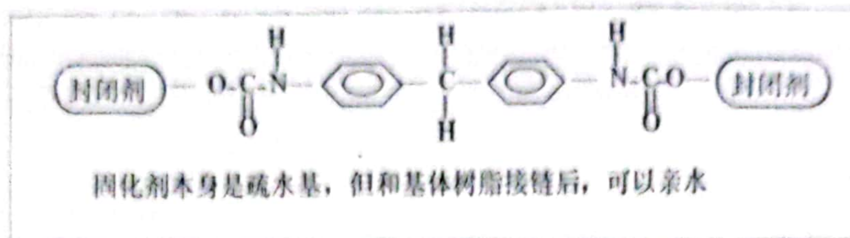
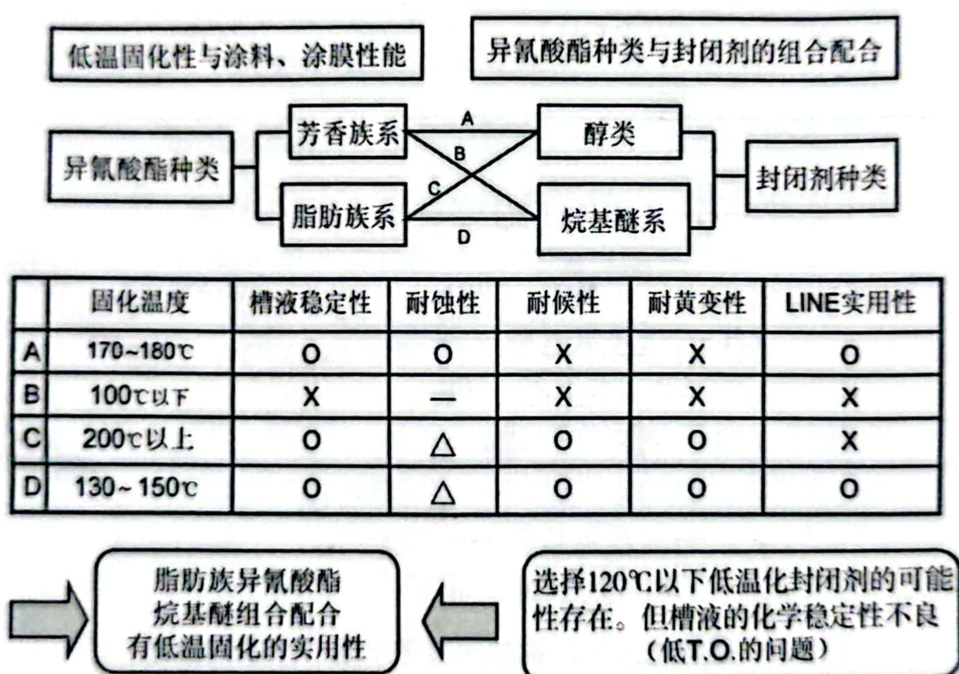


图2-4　固化剂的结构

由于固化剂中的异氰酸基团的封闭剂不同，其解封的温度也不同，因而不同厂家生产的阴极电泳漆的烘干温度的也不同。图2-5显示了采用不同封闭剂生产的阴极电泳漆的可行性。



	固化温度	槽液稳定性	耐蚀性	耐候性	耐黄变性	LINE实用性
A	170~180℃	O	O	X	X	O
B	100℃以下	X	—	X	X	X
C	200℃以上	O	△	O	O	X
D	130~150℃	O	△	O	O	O

图2-5　不同封闭剂生产的阴极电泳漆的可行性

由于国家大力提倡环保和节约能源，电泳漆的用户要求降低电泳漆膜的烘干温度，国内外各电泳漆生产厂投入大量的资金和技术力量，力图降低电泳漆膜的烘干温度，广东科德环保科技股份有限公司成功研制出的低温固化阴极电泳涂料，其涂层的烘干温度已降至140℃。其阴极电泳漆的树脂结构及固化机理如图2-6和图2-7所示。

基体树脂

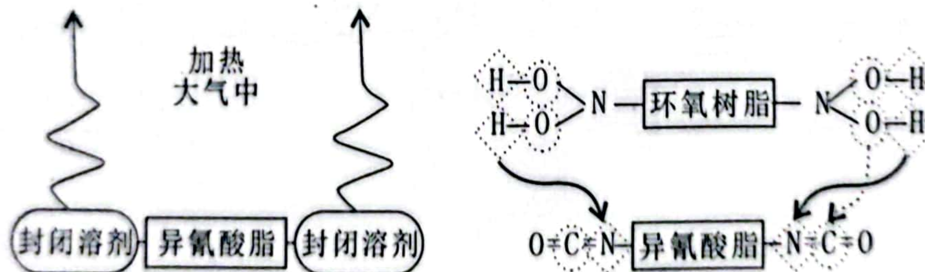
基体树脂	
KD-1000	N—环氧树脂—N；聚酯树脂；OH
KD-601	N—环氧树脂—聚酰胺树脂—N

固化剂

固化剂	
KD-1000	NCO SA；SA NCO；NCO SB
KD-601	SA NCO SA

NCO——异氰酸基因；SA——溶剂A；SB——溶剂B

图2-6　阴极电泳涂料KD-1000的基体树脂及固化剂结构



1. 通过加热进行分解反应再次析出NCO基团，封闭溶剂在涂膜的里面流动，使得涂膜平滑。

2. 析出的NCO和基体树脂中的OH（1级）再一次封闭反应，在基体树脂与基体树脂之间架桥。

3. 通过在基体树脂之间架桥，形成大的分子（高分子化），结果形成不再溶于溶剂的涂膜。

图2-7　阴极电泳漆固化机理

3. 涂料的制作过程

（1）树脂生产

电泳漆溶液中的树脂是聚合物，它们也是任何涂料中的主体。聚合物是由许多小分子有机物单体反应交联而成的大分子化合物。小分子或单体所发生的反应称为聚合反应。

生成树脂的反应是一种由各种液体和粉末互相反应而生成一种新分子的精密过程。改变使用化学品的加入次序、加入量或改变反应温度，使用同样的化学品可以产生不同的产物。

当树脂在反应过程中仍是热的时候，它呈现为液态的，当它冷却时，就变得黏稠。当加入中和剂、乳化剂、稳定剂和去离子水后，树脂就会分散成黏性很小的乳液。乳液中也含有交联剂和具有增强性能的树脂。

图2-8是电泳漆树脂生产流程图，形象地显示出树脂生产的全过程。

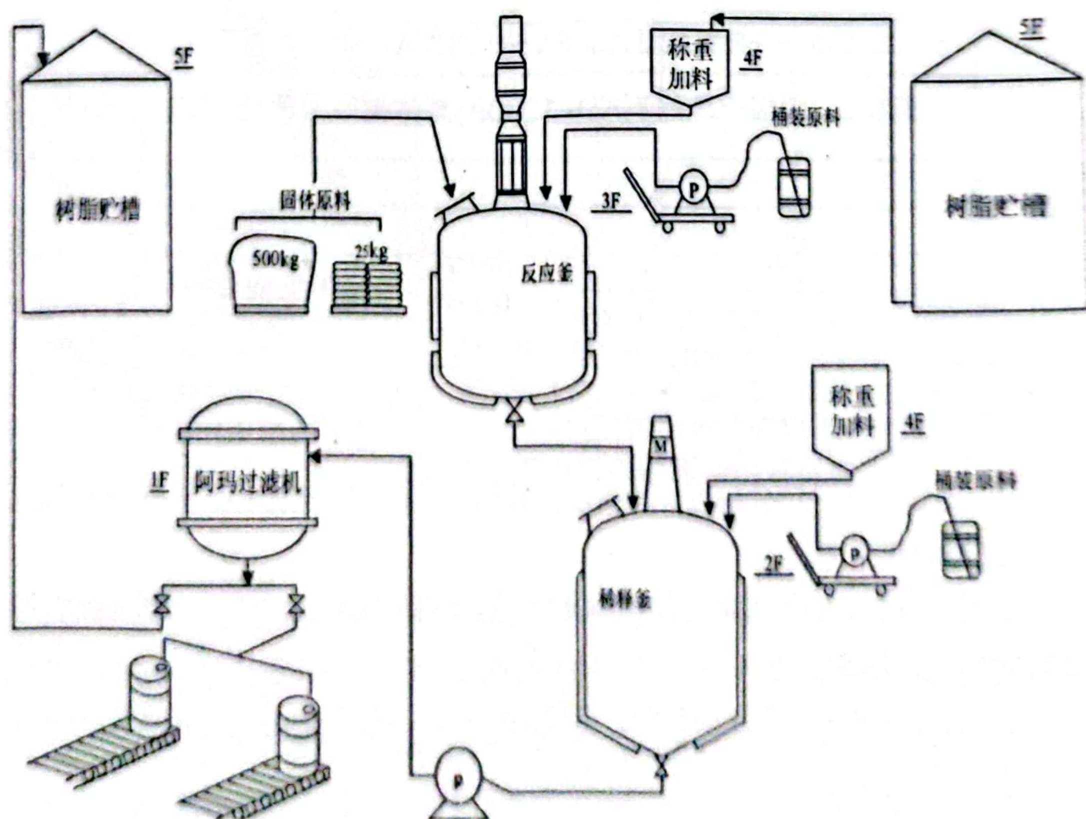


图2-8 电泳漆树脂生产流程

（2）色浆制作

色浆中有提高涂膜物理性能以及使涂膜着色的颜料。颜料本身不能直接地加入电泳槽中，必须先将分散树脂、树脂添加物、颜料（含着色颜料、填料、防锈颜料等）和其他添加物混合成糊状并研磨到要求的细度。颜料是为涂膜提供着色、填充和其他物理性质的干燥的粉末材料。分散树脂使颜料被包裹、湿润并使其悬浮于液体中防止其结块。树脂添加剂或者润湿剂则帮助颜料和树脂的混合。其他的添加剂则用于为涂膜提供抗腐蚀性等一定的特性，或者用于降低成本。

这些成分在预混槽中与溶剂混合，使颜料、添加物和其他化合物均匀地被包裹在分散树脂上，以避免产生结块。如果颜料结块成团，它们就会在漆膜上形成颗粒或在电泳槽中沉降下来。

预混中使用旋转的刀片将混合物中大块的颜料粉碎成小粒子。通过预混中的剪切并通过砂磨机研磨后，使混合物的粒径减小到微米级水平。粒径可以用刮板细度计测定。根据颜料浆的不同配方要求，粒径大约在8～15μm。

工艺统计控制方法（SPC）在油漆制造和与涂料有关产品的制造过程中均可使用。例如在颜料浆制造中的控制参数是温度、转速、研磨介质等。在材料做预混前，就要严格地将原材料的质量控制好，以保证得到准确和稳定的结果。

色浆制作的流程见图2-9。

（3）乳液制作

a）乳液组成：



b）工艺流程：



中和过程：和一般电泳漆的中和树脂配制工艺相同，没特殊要求。

乳化过程：该过程采用一般的高速分散机或乳化机进行乳化，乳化机的乳化效果好，生产效率高，可连续生产。

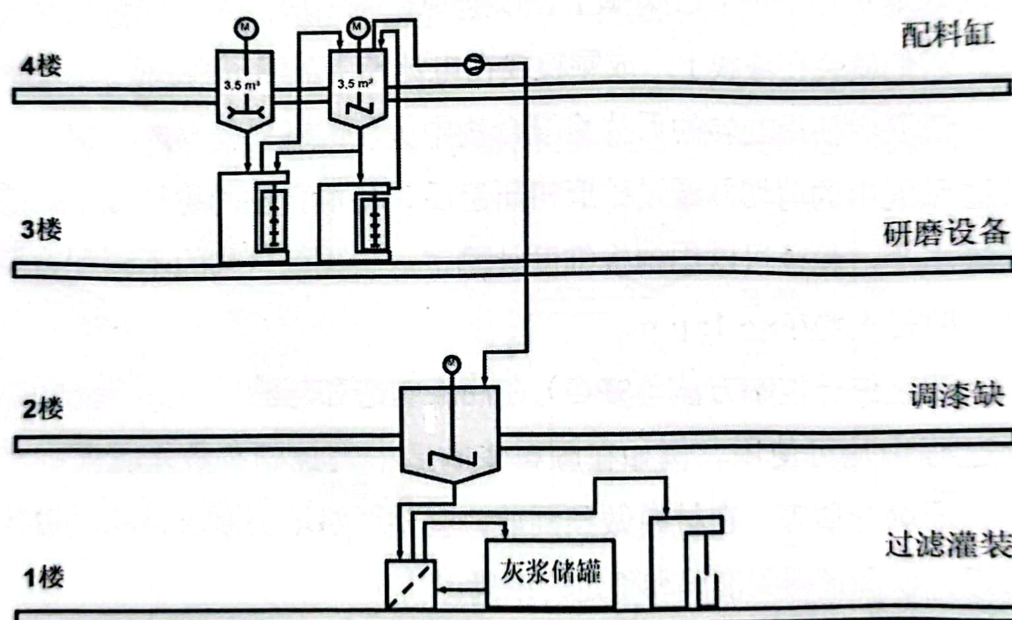


图2-9　色浆生产设备流程

乳化机通过内部转动的齿转产生很强的剪切力，使树脂分散在水中（图2-10）。所以，乳化机产生的剪切力大小直接影响乳液的质量。当去离子水相对多时，体系黏度小，剪切力小，粒径大，乳液稳定性不好。当去离子水相对少时，体系黏度大，剪切力大，粒

径小，乳液稳定性好。

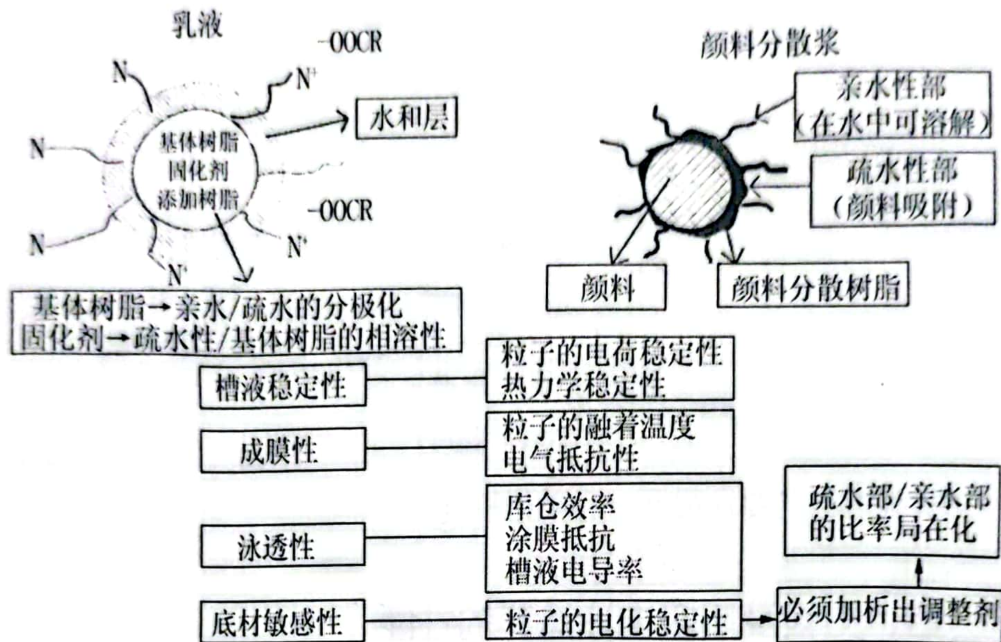


图2-10　乳液和色浆分散示意

乳化工艺的几个主要控制参数：乳化机转速、中和树脂温度、去离子水温度、中和树脂和去离子水的相对流量。

脱溶剂工艺：在生产电泳涂料树脂过程中，树脂固体份仅有70%左右，其他都是有机溶剂，有些公司使用了二甲苯、甲基异丁酮等不溶于水的溶剂，在涂装过程中乳液中残存的有机溶剂挥发到空气中，既造成资源有浪费，同时也污染了环境。因此，脱除阴极电泳涂装料中的有机溶剂并对其进行精制回收意义重大。

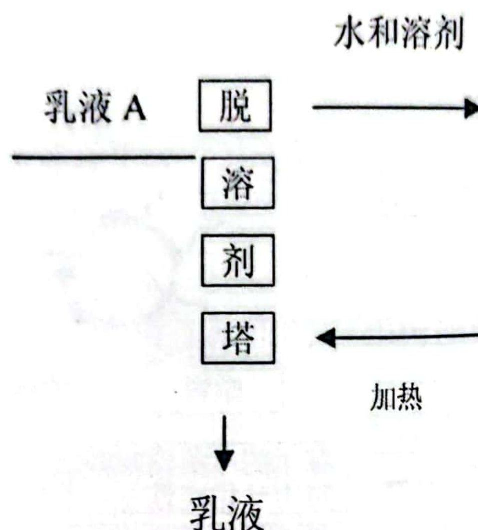
脱溶剂的目的有两点：

其一，乳液中溶剂含量较高，存放过程中易发生火灾。

其二，乳液脱溶剂后，槽液熟化时间缩短，脱完的溶剂可以回收处理，这样可以减少施工过程由于溶剂挥发所造成的污染。

CamScanner

脱溶剂用塔工艺流程如下：



脱溶剂工艺要求很严，自动化程度高。

四、阳极及阴极电泳涂料的性能

阳极电泳漆技术指标及试验方法见表2-4。

表2-4　阳极电泳漆技术指标及试验方法

项目名称		技术指标		试验方法
		优质防腐级	良好防腐级	
原漆	气味	无不良异味		
原漆	在容器中的状态	无明显分层，易搅起		目视
原漆	黏度/s	适宜		
原漆	灰分	商定		GB/T1747.2
原漆	固体分（%）	>40		GB/T1725
原漆	细度/μm	≤25	≤30	GB/T1724
原漆	颜色	各色		
原漆	储存稳定性	储存温度商定，储存时间≥6个月，各项性能满足标准要求		

续表

项目名称		技术指标		试验方法
		优质防腐级	良好防腐级	
工作液	工作液固体份（%）	10～12		GB/T1725
	pH值	7.5～9.5		pH计
	电导率/（μS/cm）	1 000～3 000		HG/T3335
	颜基比（P/B）	商定		GB/T1747
	筛余分（325目过滤）/（mg/L）	≤20	≤30	
	溶剂含量（%）	1～10		
	沉淀性	静置＞24h无明显分层，颜料沉淀＜5mL/L		
施工性能	库仑效率/（mg/C）	≥15		HG/T3337
	泳透力（%）	≥50	≥30	
	L效果	水平面平整光滑，与垂直面无明显差别		
	施工电压（V）	80～250		
	槽液温度（℃）	20～30		
	泳涂时间（min）	2～3		
	破裂电压（V）	大于最高施工电压30V		
	干燥性能（级）	按商定条件烘干后，≥4		
	再溶解性（%）	≤10		
	与面漆配套性	与氨基漆、丙烯酸漆配套良好		
漆膜性能	外观	平整光滑无缩孔		目视
	膜厚（μm）	≥18		GB/T1764
	弹性（mm）	1		GB/T1731
	冲击强度（N·cm）	≥392		GB/T1732
	附着力（级）	≤2		GB/T1720
	光泽（%）	40～80		GB/T9754
	杯突（mm）	＞3		GB/T9753
	耐碱性（h）	≥8		GB/T9274
	耐酸性（h）	≥8		GB/T9274
	耐水性（h）	＞500	＞300	GB/T1733
	抗石击性（级）	≤2		
	耐盐雾（h）	≥360	≥240	GB/T1771

CamScanner

中华人民共和国机械行业标准JB/T 10242 –阴极电泳涂装通用技术规范，作为行业标准，对于不同品种的阴极电泳漆的技术指标作出规定，其技术指标见表2–5，阴极电泳涂膜性能见表2–6。

表2–5　阴极电泳漆技术指标

	项目	技术指标			试验方法
		底涂层	底面合一涂层	装饰性涂层	
原漆	气味	无不良气味			
	在容器中状态	无明显分层，易搅起			目视
	黏度（s）	适宜			
	颜基比（P/B）	0.1～0.6			GB/T1747
	固体份（%）	单组份50～70，双组份30～50			GB/T1725
	细度（μm）	≤15			GB/T1724
	颜色	各色			
	组份数	单组份或双组份			
	电导率（μs/cm）	适用于双组份800～2000			HG/T3335
	pH值	适用于双组份 色浆5.0～6.0，乳液6.6～7.3			pH计
	沉淀性	适用于双组份乳液 120h不分层，无絮状物析出			
	筛余分（mg/L）	适用于双组份色浆			325目过滤
		≤25	≤20	≤15	
	储存稳定性	储存温度商定，储存时间≥3个月，各项性能满足标准要求。			
工作液施工性能	固体份（%）	根据涂料品种要求			GB/T1725
	pH值	根据涂料品种要求			pH计
	电导（μs/cm）	根据涂料品种要求			HG/T3335
	颜基比（P/B）	根据涂料品种要求			GB/T1747.2
	MEQ值	根据涂料品种要求			附录A中A4
	筛余分（mg/L）	≤10			325目过滤

续表

	项目	技术指标			检验方法
		底涂层	底面合一涂层	特殊性能涂层	
工作液施工性能	溶剂（乙二醇醚类）含量（%）	≤ 1.5（乙二醇甲醚、乙二醇乙醚总量）			气相色谱法
	沉淀性	静止≥24h，无明显分层 颜料沉淀≤5ml/L，易搅起			
	MEQ值	双组份25～35，单组份40～60			
	库仑效率（mg/C）	≥ 25			HG/T 3337
	泳透力·cm（%）	≥18（85）	≥16（75）	≥14（60）	附录A中A10
	L型效果	水平面与垂直面涂膜平整 、光滑、无异常；外观、膜厚无明显差别			附录A中A 6
	施工电压	根据产品要求			
	泳涂时间（min）	2～3			
	破裂电压（V）	高出最高施工电压30			附录A中A3
	干燥性能（级）	按商定条件烘干后≥4			
	加热减量（%）	≤ 10			附录A中A5
	再溶解性（%）	≤ 10			附录A中A2
	电压与膜厚（V/μm）	根据需要，测定ED曲线，选择最佳电压膜厚值			附录A中A1
	环境温度下的槽液稳定性	涂装电压升高≤ 40V、各项性能合格			附录A中A8
	细菌繁殖	合 格			附录A中A11
	GEL分率（%）	>90，涂膜无起泡、剥落、发粘、明显变色、失光			附录A中A7

注：试验方法中的附录A为JB/T10242阴极电泳涂装规范标准的附录

表2—6 阴极电泳涂膜的性能

序号	项目	技术指标（举例）			试验方法
		底涂层	底面合一涂层	装饰性涂层	
1	涂膜外观	平整、光滑、无异常			目测
2	光泽（60° 镜面光泽）	根据涂料品种要求			GB/T 9754
3	硬度	≥H			GB/T 6739
4	耐冲击（N.cm）	490			GB/T 1732
5	柔韧性（mm）	1			GB/T 1731
6	耐水性（40℃×500 h）	涂膜无变化			GB/T 1733
7	耐酸性（0.05 mol/ H_2SO_4×8 h）	涂膜无变化			GB/T 9274
8	耐碱性（0.1mol /NaOH×8 h）	涂膜无变化			GB/T 9274
9	划格试验（1 mm）级	0			GB/T 9286
10	锐边缘防锈性	根据供需双方商定			附录A中A 9
11	耐盐雾性能（h）	≥800	≥500	≥300	GB/T 1771
12	抗石击性	根据用户要求			附录B
13	耐老化性	–	300h 2级	600h 1级	GB/T 1865
14	耐磨损性	根据用户要求			供需双方协商
15	环境适应性	根据用户要求			供需双方协商

注：试验方法中的附录B为JB/T10242阴极电泳涂装规范标准的附录

五、底面合一阴极电泳漆

底面合一涂料就是将底漆和面漆合二为一的一种涂料，既可作为底漆用，又可以作为面漆用。这就要求其不仅要具有底漆的性能（如防腐性能等），而且采用丙烯酸树脂涂膜具有耐候性及丰满度等性能。阴极电泳涂料一般采用丙烯酸耐候性优异的完美结合（图2-11）。

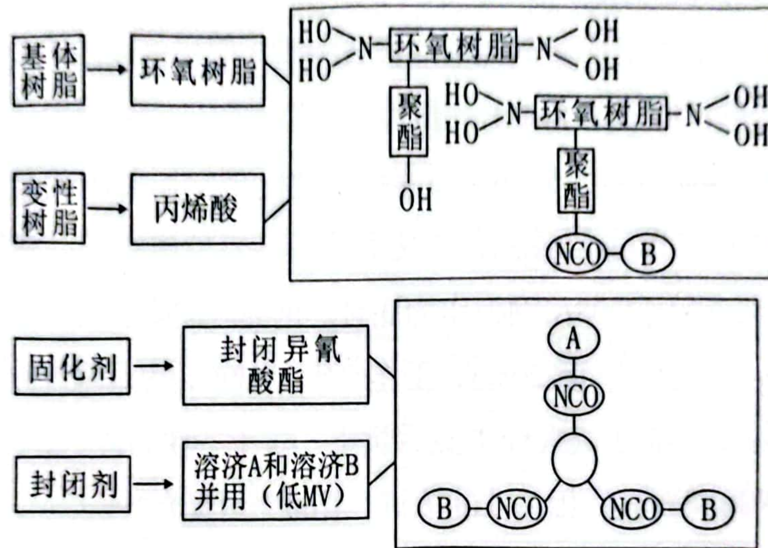


图2-11 聚酯改性阴极电泳树脂的示意

底面合一阴极电泳漆的制备主要是利用环氧树脂和丙烯酸树脂在同一介质中的表面张力差异来实现。在干燥固化的过程中，随着介质的变化，低表面能的丙烯酸树脂逐渐向外表面迁移，高表面能的环氧树脂逐渐向内表面迁移，最后形成一个具有渐变过程的复合涂层，这样的涂层不但具备环氧涂层的高防腐性能，同时还具备丙烯酸涂层的良好耐候性能。

目前，底面合一阴极电泳漆已经广泛应用于汽车、摩托车零配件、家电五金工件等领域。商用车车架在改装车厂需要停放一段时间，因此车架涂层需要一定的耐候性要求。与传统环氧型车架电泳漆相比，将底面合一型电泳漆应用在车架上，只需一道电泳涂层，无需再喷涂面漆，就能在保证车架涂装成本经济性的情况下，满足

车架涂层既有高防腐性又兼具一定耐候性的需求。底面合一阴极电泳漆在车架上具有较大的应用价值，故有必要探讨其相关性能，特别是对耐候性和耐盐雾性的评价标准，建立一个能综合评价底面合一阴极电泳漆耐候性和耐盐雾性能之间关系的评价方法

1. 底面合一阴极电泳漆的性能与评价标准

（1）试验方法

在实验室对某厂家研制的底面合一黑色阴极电泳漆（双组份）进行了性能测试（表2-7）。按照生产厂家提供的配槽方法，以色浆：乳液：纯水=1：5：6（重量比）的比例，加入1%的配套助溶剂，配制成工作液，经充分熟化后进行各项性能检验。使用经脱脂、表调、磷化的08Al钢板作为底材。电泳时的阴、阳极比（面积比）为4~5：1，极间距20cm，工作电压为220V，电泳温度31℃，电泳时间3min，电泳试板经水洗后烘干，烘干条件为175℃/30min，用所获得的样板进行相关性能测试。测试结果见表2-8。

表2-8表明，该底面合一阴极电泳漆的机械性能和耐盐雾性能基本能达到商用车车架电泳漆的要求。在耐候性上，相同的500h的试验时间，人工加速（氙灯）老化的漆膜失光率为54%，表面轻微粉化；QUV老化的漆膜失光率为23%，表面轻微粉化。

从上述氙灯老化和QUV老化的试验结果来看，同样是500h的试验时间，氙灯老化后的漆膜，其失光率远远大于QUV老化的漆膜，其原因之一可能与老化试验的光照时间有关。

表2-7 某厂家耐候性阴极电泳漆性能与类型

NO	型号	耐候性	树脂体系	适用性
1	LB-30	200Hr	聚酯改性	面漆配合
2	LB-3000	300Hr	丙烯酸改性	面漆配合
3	LB-60（有铅）	600Hr以上	丙烯酸系	底面合一
4	LB-66（无铅）	600Hr以上	丙烯酸系	底面合一

CS CamScanner

表2-8　底面合一阴极电泳漆的相关性能（实测值）

	项目	检测结果	检验标准/条件
工作液参数	固含量	18.8%	GB/T 6751-86
	pH值	5.6	酸度计，25℃
	电导率	1 326 μS/cm	HG/T 3335-77
	返溶性	4%	/
	加热减量	7.2%	/
	库仑效率	26.2 mg/C	HG/T 3337-85
	击穿电压	300V	电泳温度
	泳透力	16cm	福特盒法
	灰分	15.56%	GB/T 1747-79
	L-效应	水平面与垂直面外观无明显差别	目测
漆膜性能	漆膜外观	平整、光滑，无缩孔	目测
	漆膜厚度	29～34μm	GB/T 13452.2-2008
	划格附着力（1mm）	1级	GB/T 9286-98
	光泽（60°）	62.5	GB/T 9754-2007
	冲击强度	≥50kg.cm	GB/T 1732-93
	柔韧性	1mm	GB/T 1731-93
	杯突性能	≥6mm	GB/T 9753-2007
	耐盐雾性能	500h，沿叉单侧扩蚀≤2mm，板面无起泡，无锈蚀	GB/T 1771-2007
	氙灯老化试验	500h，轻微粉化，失光率54%	GB/T 1865-2009
	QUV老化试验	500h，轻微粉化，失光率23%	ASTM D4587-2005

氙灯老化试验条件为：每小时42min的光照、50%的相对湿度与18min的光照+喷淋交替进行，每2h为一个循环周期。

QUV老化试验条件为：4h紫外线曝晒，温度60℃；4h冷凝暴露，温度40℃，每8h为一个循环。也就是说，在相同的500h试验时间里，氙灯老化的光照时间为QUV老化光照时间的1.7倍，175h光

CamScanner

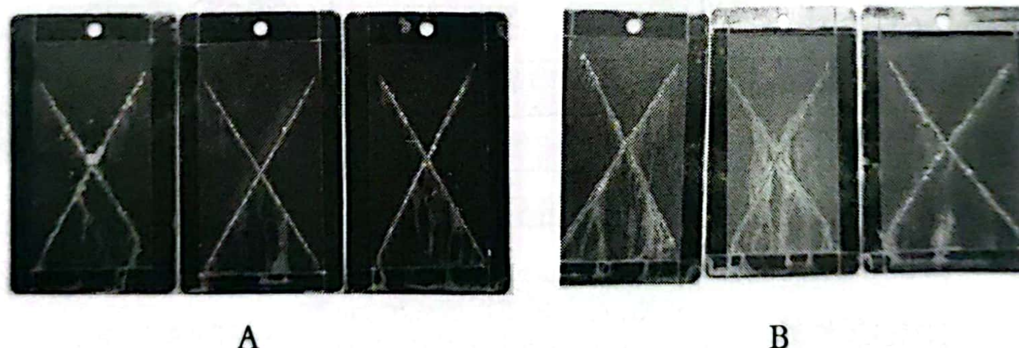
照时间的差异，一定程度上加剧了光照对漆膜的破坏程度。

（2）底面合一阴极电泳漆老化和耐盐雾性能的评价

根据以往工作中的经验，分开评价底面合一电泳漆的耐老化和耐盐雾性能时，这两种性能指标均达到要求。如果将进行老化试验后的试板继续做盐雾试验的话，其耐盐雾性能却不一定能达到要求。针对底面合一电泳漆兼具耐腐蚀和耐老化性能的特点，需要建立一个合适的试验方法，来评价其综合性能。为此将进行了氙灯/QUV老化试验的试板继续做盐雾试验，其结果如表2-9和图2-12。

表2-9　底面合一阴极电泳漆试板进行氙灯/QUV老化+盐雾试验数据

试板	试验方法	试验结果
A	500h氙灯老化+250h盐雾	沿叉单侧扩蚀1～2mm
B	500h QUV老化+350h盐雾	沿叉单侧扩蚀≤1mm



A. 500h氙灯老化+250h盐雾试验；B. 500h QUV老化+350h盐雾试验

图2-12　底面合一阴极电泳漆老化+盐雾试验后的板面状况

由表2-9及图2-12可知，500h的耐候性试验后，氙灯老化试样的耐盐雾性能下降得更严重。从表2-9的试验结果可知，氙灯老化对涂层的破坏比QUV老化严重，可能是表层丙烯酸树脂的耐老化性能已失效，底层的环氧树脂受到破坏，导致其盐雾性能下降。

底面合一阴极电泳漆在成膜过程中，丙烯酸树脂向外迁移，而

CamScanner

环氧树脂向内迁移，在基体表面形成由环氧树脂渐变为丙烯酸树脂的一个复合涂层。在光照下，表层的丙烯酸树脂可以起到保护底层环氧树脂免受或少受破坏的作用，而底层的环氧树脂又能发挥其优异的耐盐雾性能。

因此，在评价底面合一阴极电泳漆耐候性能和耐盐雾性能两方面的综合性能时，可以采用先进行老化试验，评价其耐候性能；然后继续进行盐雾试验，再评价耐盐雾性能的方法。该评价方法虽然在理论上比较贴合实际，但在进行老化试验时，除了要考虑光照种类（QUV或氙灯）外，更需要考虑的是老化试验进行到何种程度后再做盐雾试验，才能在获得涂层实际耐盐雾性能的前提下，进一步获取其耐候性能。

第二节　国内外电泳涂料的现状

全球知名的电泳漆生产厂家主要有：美国PPG、德国巴斯夫、日本关西、美国杌邦、立邦等。目前在汽车涂料市场中占主导地位。阴极电泳涂料具有较高的技术壁垒，市场进入壁垒和服务壁垒，其生产技术长期掌握在以上少数几家涂料巨头手中，其技术发展也较为迅速，据悉其电泳漆已发展到第五、第六代，表2-10为日本关西的电泳漆的发展过程。

表2-10　日本关西的电泳漆的发展过程

	第Ⅰ代	第Ⅱ代	第Ⅲ代	第Ⅳ代	第Ⅴ代	第Ⅵ代
开发方向		涂膜性能	涂膜性能、作业性、表观	附加特殊功能	新技术	地球环境
类别	AED	CED	CED	CED	CED	CED

续表

	第I代	第II代	第III代	第IV代	第V代	第VI代
	EL7000	EL7000	EL7000	No2000	GT-10	LB-20LF
特点		初期的CED	高泳透性、防锈性 良好的槽液稳定性 防锈钢板适应性	高泳透性、防锈性 良好的槽液稳定性 新防锈钢板适应性 低温固化性 中厚膜	高泳透性 低温固化性提高 低加热减量 高防锈性 防锈钢板适应性	环境适合化 节省资源 节省能源 低成本高性能
特殊技术			厚膜型HB-2000赋予厚膜适应性，高外观防锈钢板适应性	端面防锈型EL9700端面防锈性良好		无铅化薄膜、高抗针孔 耐石击 高耐候性

国内一些合资公司引进国外公司的技术，消化吸收逐步实现国产化，自成体系，并不断更新换代，多数的国内民营企业也通过自主研发制造出质量相当的阴极电泳涂料。广东科德环保科技股份有限公司从20世纪90年代就开发出阴极电泳涂料，并成功应用于东风汽车公司商用车驾驶室涂装线，近年来，技术迅速发展，已成功研发出低温烘干的阴极电泳漆和底面合一阴极电泳漆、装饰型阴极电泳漆（表2-11）。

表2-11　国内阴极电泳漆主要生产厂家

生产厂家	主要阴极电泳漆品种
关西合资公司	底涂层阴极电泳漆、底面合一阴极电泳漆、装饰型阴极电泳漆
PPG合资公司	底涂层阴极电泳漆、底面合一阴极电泳漆、装饰型阴极电泳漆

续表

生产厂家	主要阴极电泳漆品种
立邦涂料公司	底涂层阴极电泳漆、底面合一阴极电泳漆、装饰型阴极电泳漆
巴斯夫合资公司	底涂层阴极电泳漆、底面合一阴极电泳漆
杜邦红狮涂料公司	底涂层阴极电泳漆、底面合一阴极电泳漆
广东科德环保科技股份有限公司	底涂层阴极电泳漆、底面合一阴极电泳漆、装饰型阴极电泳漆
上海金力泰公司	底涂层阴极电泳漆、底面合一阴极电泳漆
优立化工有限公司	底涂层阴极电泳漆、底面合一阴极电泳漆、装饰型阴极电泳漆

第三节　电泳涂料的发展

随着节能环保要求的提高，为减轻车体自重和汽车涂层防腐蚀性能要求的提高，应用了大量的镀锌钢板和铝板，阴极电泳漆为适应这些要求也不断的改进。图2-13是世界范围内阴极电泳涂料的发展趋势（表2-12）。

21世纪以来的10多年间，世界各大电泳涂料供应商为了满足用户更高层次的需要，设计出各种阴极电泳涂料，生产了树脂组成及颜料组成均有较大幅度变更的最新一代CED涂料（表2-13）。

新开发的阴极电泳涂料具有如下诸多优良特点：

低温固化性——通过采用多官能度固化剂及低温解转型封闭剂来降低固化温度（140℃×10min；150℃×20min）。

高防腐蚀性——通过固化剂的多官能化提高交联密度，因此获得水、氧气难以透过的防腐性能优越的涂膜。

防锈钢板适应性——析出膜CED湿膜的溶融性良好，且烘烤时的热流动性良好，提高了溶融涂膜的脱泡性、泡痕修复性。

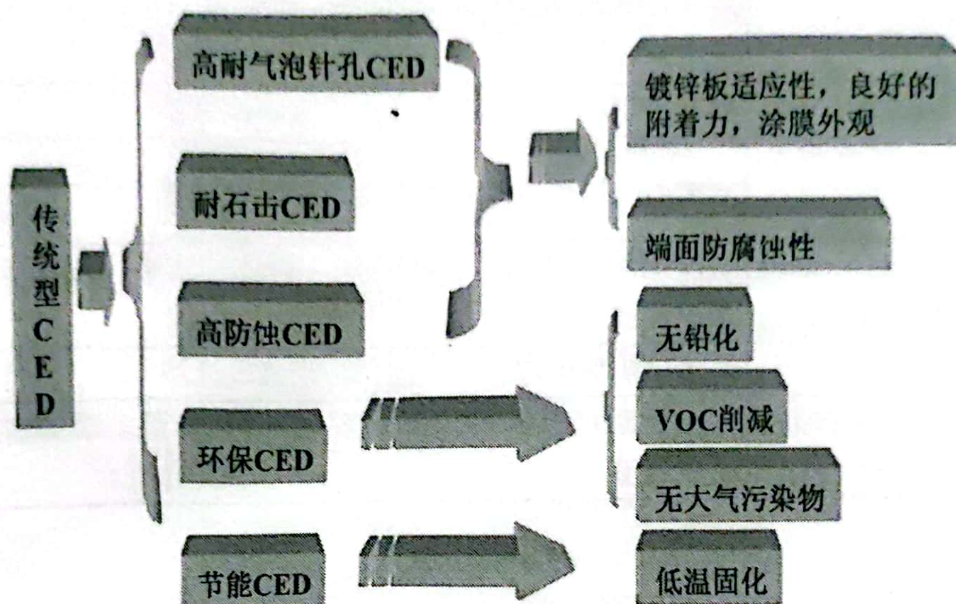


图2-13　世界范围内阴极电泳涂料的发展趋势

低加热减量——通过赋予低温固化性和封闭剂的低分子量化，减少了烘烤时的挥发成分，黏附在烘炉壁的污染物减少。

泳透力提高——内外膜厚更加均一化。

图2-14是 CED的开发目标、设计思想、开发方法及达成品质的指标。

汽车车身由于其结构复杂，箱式结构使其内部漆膜较薄，耐腐蚀性能降低，因此要求阴极电泳漆要有较高的泳透力。随着涂装环保的要求，开发了不同表面处理的工艺和材料，表面处理的工艺和材料不同，随之而来的阴极电泳漆的配套性的问题出现，人们进一步对阴极电泳漆的配套性的问题进行不断的研究。

众所周知，如果所使用的CED涂料泳透力较低，会导致汽车内腔锈蚀严重。要保证车身内腔表面的泳涂膜厚≥10μm，外表面涂膜厚往往达（25~30）μm（按标准一般只需18~22μm），有的部位因

CS CamScanner

泳涂时间长则更厚。这种超高膜厚，虽不是质量问题，但使CED涂料耗量增大，涂装成本增高。

日本丰田在2010年就已经规划对汽车电泳漆膜的目标是驾驶室外表面15μm，内表面10μm，即四枚盒泳透力为0.67，可以使涂料使用量降低20%，综合成本降低10%，并在生产线得到了实际应用。一汽青岛汽车厂驾驶室涂装线于2008年上半年选用泳透力0.51的CED涂料更换原来的泳透力0.42的CED涂料，达到外表面膜厚20～22μm，内腔最低10μm，实际节省CED涂料近30%。

据了解，德国大众也出台了最新标准，即将汽车电泳漆膜外表面厚度从24~26μm降低到17μm。上海通用二厂、一汽大众长春、佛山工厂分别于近年开始使用某公司高泳透力电泳涂料，综合成本降低10%左右。一汽商用车、柳州五菱、江淮汽车、沈阳通用、烟台东岳、郑州宇通等均有切换应用高泳透力电泳涂料的计划。

主要开发目标		设计思想	开发方法	达成度
项目	目标			
低温固化性	140℃×10分 或150℃×20分	固化剂多官能化 低温离解型封闭剂	多官能化固化剂采用 低温离解型封闭剂采用	OK
高防腐蚀性	SST HES D2021－1种－3级合格	架桥密度提高 物透过阻止能提高	多官能化固化剂采用 特殊聚酯和变性环氧树脂采用	OK
镀锌钢板适应性提高	适用电压以上 （250V以上）	脱泡性提高－析出涂膜均一化 热流动性提高－泡迹修复性提高	特殊聚酯和变性环氧树脂采用	OK
低加热减量	6%以下 （160℃×20分）	封闭剂低分子量化 赋予低温固化性	低温离解型封闭剂采用	OK

图2-14　CED的开发目标、设计思想、开发方法及达成品质

表2-12　高泳透力电泳涂料的技术概念及开发历程

2008年以前	2008—2011年	2011年到现在
普通无铅CED，已普遍应用	与磷化配套的第一代高泳透力CED，少数生产线已应用	研究与新型前处理材料（硅烷复合膜材料）配套的第二代薄膜超高泳透力CED、与磷化配套的第二代薄膜超高泳透力CED

表2-13　各代阴极电泳涂料电泳特性

分类	普通无铅CED	第一代高泳透力CED	第二代薄膜超高泳透力CED
特性	通用型无铅	内外表面膜厚均一	外表面膜薄、内外表面膜厚均一
外表面膜厚	≤25μm	≤ 22μm	15~18μm（18~20μm）
内表面膜厚	≥10μm	≥10μm	≥10μm
4BOX泳透力	0.4左右	≥0.45	≥0.55
涂料使用量	指数=100	指数=90	指数=80

采用超高泳透力电泳涂料能耗降低有几方面：

1. 电泳涂装能耗降低

单车涂料消耗下降，在库伦效率（mg/c）基本相当的情况下，电泳过程的电量会相应降低（表2-14）。

表2-14　消耗降低理论计算

试板	对应车身内外各部位面积（㎡）	超高泳透力		常规涂料	
		膜厚(μm)	消耗（kg）	膜厚(μm)	消耗(kg)
A	24	18.0	1.68	26	2.34
B	21	16	1.31	19.5	1.55
C	21	16	1.31	19.5	1.55
D	10	13	0.51	14	0.55
E	10	13	0.51	14	0.55
F	7	11	0.3	11	0.3
G	7	11	0.3	10.5	0.29
合计	100		5.91		7.30

2. 电泳时间缩短，生产效率提高

超高泳透力电泳涂料在较短的电泳时间（2min）仍然可以获得优异的泳透力水平，这为加快生产节拍，提高生产效率提供了很大的空间，也为降低涂装车间整体能耗创造了空间。

3. 槽液冷却能耗降低

超高泳透力产品的施工温度为30±2℃，比常规涂料温度28±1℃更高更宽，生产过程中槽液冷却能耗将得到降低。

汽车车身及各种五金零件是通过冲压件组合而成，由于剪切的原因产生了锐边。在涂漆和烘干流平的过程中锐边部位漆膜较薄，成为金属腐蚀的突破口。为解决金属锐边腐蚀，涂料技术人员对阴极电泳漆进行改进，图2-15所示为提供解决问题的办法。

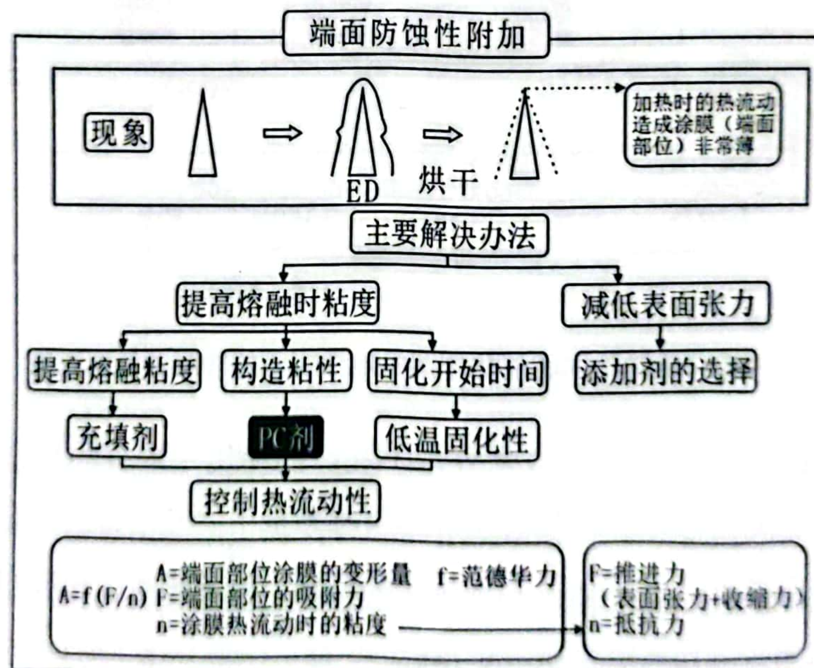


图2-15 锐边腐蚀原因及解决办法

铅作为阴极电泳漆烘干过程中的催干剂，能提高漆膜的耐腐蚀性能，在早期的阴极电泳漆中大量使用。随着环保要求的提高，重金属铅已被明令禁止使用。涂料厂不得不采用较昂贵的金属如锡、

CamScanner

铋等代替铅用作催干剂。随着环保对行业要求的逐步提高，锡也被某些行业禁用，广东科德环保科技股份有限公司就是为家电压缩机行业研发了低温无锡的高防腐性能的阴极电泳涂料。图2-16为使用不同的催化剂阴极电泳涂膜的干燥性能和防腐蚀性能对比。

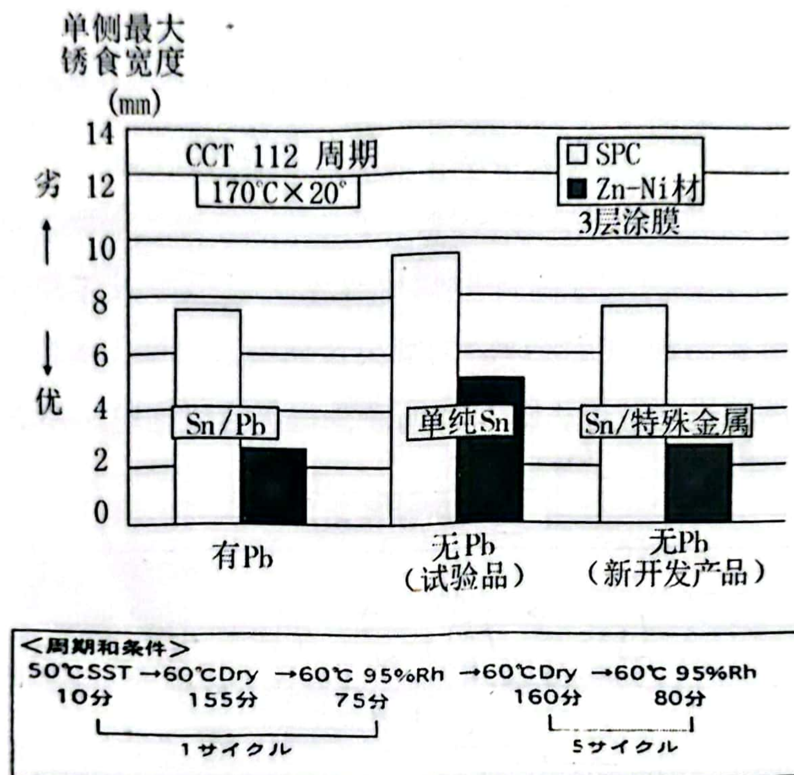


图2-16　使用不同的催化剂阴极电泳涂膜的防腐蚀性能比较

为解决涂装过程（废水处理）和产品使用（涂膜的重金属含量）中的环保要求，世界各国和地区都规定了产品涂膜的重金属含量的最低要求。产品如达不到规定的要求，就不能在该地区销售。表2-15为各国涂料重金属限定指标。

表2-15　各地区涂料重金属限定指标

地区	Pb	Cr	Hg	Cd
美国mg/kg	<90	<5	<2	<5
日本电协PPM	<100	<5	<2	<5
欧盟PPM	<1 000	<1 000	<1 000	<100
中国PPM	<1 000	<1 000	<1 000	<100

显然按照中国的标准生产的产品在很多地区会不准销售，因此国内的涂料公司是按照国外最严格的要求来制造油漆。

随着汽车工业的迅猛发展，汽车产能的不断扩大，能源消耗随之急剧增长。因此，为了在激烈的竞争中占据一席之地，使利润最大化，整车厂都在为降低成本付出不懈的努力，节约能源，减少排放成为当前任务的重中之重。那么，对节能技术的探索和实施对整个汽车工业乃至全社会都具有重要而深远的意义。

涂装车间是企业的耗能大户，尤其是喷漆室的空调送风和涂膜的烘干室。采用低温烘干的涂料如采用140～160℃烘干的阴极电泳漆、低温烘干的双组份罩光漆等是直接节约了烘干能源。新一代的阴极电泳漆既采用低温烘干又能适应高温的过烘干，图2-17是广东科德环保科技股份有限公司新开发的阴极电泳漆烘干工艺窗，在框内的任何一点的烘干条件都能满足该阴极电泳漆的烘干要求。

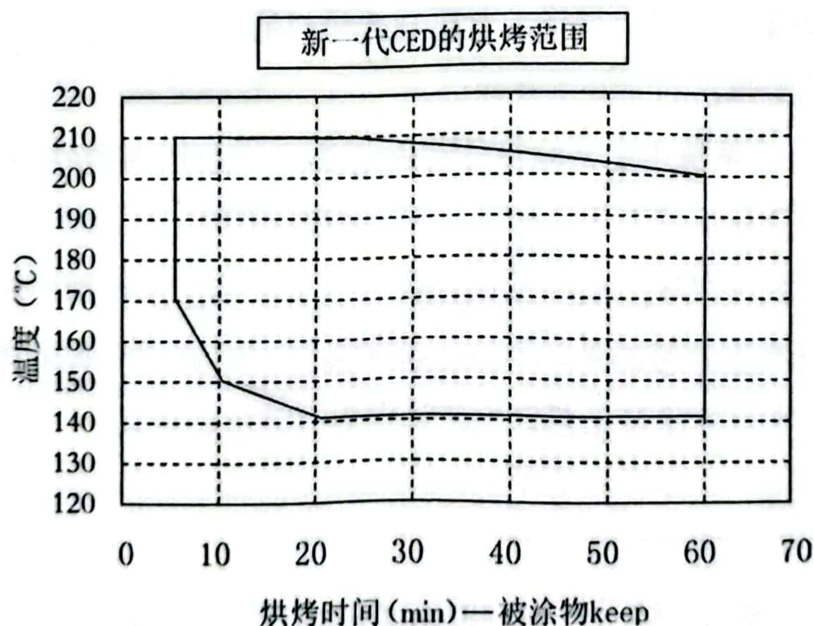


图2-17　新开发的阴极电泳漆烘干工艺窗



电泳前处理工艺与管理

通过本过程或工序生产的产品质量在本工序不能被检测，需要在下一道工序或破坏性的检测才能确定的加工过程或工序如焊接工序、涂装工序、淬火工艺（过程）等叫特殊过程或特殊工序。特殊过程或特殊工序的产品质量要靠制造材料质量、执行施工工艺参数和确保施工设备的完好率来保证。

对涂装系统来说，涂装材料确定以后产品涂装质量三分靠涂装设备，七分靠涂装工艺管理。

随着我国汽车工业的发展，我国汽车涂装技术特别是新建的汽车涂装线基本上与世界汽车涂装技术接轨，但管理水平还有一定的差距。对于电泳涂装工艺，工艺管理更有其重要意义。

第一节　电泳前处理工艺及设备

一、涂装前表面处理的重要性

1. 涂装前表面处理工艺

CamScanner

1）用机械或化学方法消除被涂物表面的缺陷，钣金件的凹凸不平、焊渣、型砂及锈蚀产物。

2）清洗被涂物表面的污垢。

3）对经过清洗的金属表面进行各种化学处理，如黑色金属磷化、有色金属的铬酸盐化等。

2. 涂装前表面处理的重要意义

1）提高涂层对底材的附着力，特别是二次附着力（与所用前处理材料质量及后处理关系极大）。

2）提高涂层的抗腐蚀能力。

3）涂装前表面处理工艺与涂装工件的材质及形状的关系较大，对复合车身综合的涂装质量有较大的影响。

3. 涂装前表面处理工艺与涂装工件材质的关系

1）脱脂工艺。黑色金属可采用强碱或弱碱脱脂剂，但采用强碱清洗时，必须有表调工序。有色金属锌、铝等脱脂必须采用弱碱性脱脂剂，以免表面被腐蚀。

表3-1列出各种金属耐碱性的极限值，要求根据被处理工件的材质选择弱碱性、中碱性、强碱性脱脂剂。

表3-1　各种金属耐碱性的极限值

金属	极限值（pH）	金属	极限值（pH）
锌	10	黄铜	11.5
铝	10	硅铁	13.0
锡	11	钢铁	无极限

2）化学转化膜工艺材料与被处理材质的关系。黑色金属及镀锌或锌合金件一般采用磷化工艺，镀锌或锌合金件必须采用低锌磷化剂，锌或铝合金件可采用铬酸盐膜化工艺，黑色金属、锌、铝合金混线磷化生产时，磷化液成分必须包含F^-成分或采用氧化锆硅烷复合膜处理。

4. 涂装前处理用材与被涂物形状及工艺有关

1）简单的被涂物可以采用喷射处理工艺，可以节省处理时间和配制槽液的用量，由于喷射方式容易起泡，一般要采用低泡或无泡的脱脂剂。

2）复杂工件需要采用浸渍工艺，如轿车车身，喷射处理只能有70%面积完全处理好，半浸半喷约为90%，全浸并在浸槽内有摇摆方式可达到100%，采用浸渍脱脂的方式可使用各种脱脂剂。

二、前处理脱脂技术

1. 脱脂工艺

（1）油的种类

皂化油：动植物油及带有磺酸、羧基的矿物油脂，能与碱反应皂化并溶于水中，属皂化油。使用强碱性的脱脂剂通过皂化反应可以除去。

非皂化油：对于不与碱反应的矿物油如各种冲压拉延油、石蜡、凡士林等，单纯采用碱性化合物清洗剂就难于除去，必须添加乳化剂将它们乳化到清洗液中除去。

（2）脱脂方法

a）有机溶剂除油：采用200#溶剂汽油、煤油、甲苯、二甲苯等进行擦净或采用三氯乙烯、四氯乙烯等含氯溶剂进行蒸气清洗。

b）物理除油：擦揩法，燃烧法，喷砂等。

c）碱性水基清洗：采用碱性水基清洗剂溶液对零件喷洗或浸洗，通过皂化、乳化、分散及机械冲刷除油。

d）采用表面活性剂乳化的方式除油。

e）采用电化学方法除油。

三、碱性水基清洗剂的组成

1. 碱性化合物（表3-2）

1）氢氧化钠。强碱，提供碱度，对动植物油脂及酸性矿物油脂

CamScanner

起皂化作用。对有色金属有腐蚀作用，使磷化膜结晶粗大。

2）碳酸钠。水解生成氢氧根，对工作槽液PH值起缓冲作用。

3）硅酸钠。生成的硅酸胶束对油污起乳化和分散作用，对工作槽液pH值起缓冲作用。

4）磷酸三钠及缩合磷酸盐。软化硬水，起分散及乳化污垢作用。由于磷酸盐的过肥作用，在环保型清洗剂中禁用磷酸盐。

表3-2　碱性化合物清洗性能比较

项目 / 洗净性 / 物质名称	pH值（质量分数为1%）	浸透力	分散力	乳化力	洗净力	水洗性
偏磷酸钠	12.10	2	1	2	1	2
磷酸三钠	11.95	3	1	1	1	2
三聚磷酸钠	9.60	3	2	[illegible]	2	3
氢氧化钠	13.00	4	2	2	2	4
碳酸钠	11.20	4	3	2	1	4

2. 表面活性剂

（1）表面活性剂品种

表面活性剂有分离子型和非离子型、可降解和不可降解等数种，表面活性剂有浊点一说，当温度在浊点以上时，表面活性剂从清洗液中分离出来而失去乳化除油的功能，因此要根据脱脂剂施工温度考虑选择浊点超过清洗温度的表面活性剂，才能将清洗下来的油脂乳化到清洗液中，保持清洗剂的作用。环保型清洗剂要采用可降解型表面活性剂。

（2）阴离子表面活性剂

LAS——直链烷基苯磺酸钠$C_{12}H_{25}OSO_3Na$。

AES——脂肪醇聚氧乙烯醚硫酸盐。

AOS——α-烯基磺酸盐，属高效率、无污染、低成本表面活性剂。

（3）非离子型表面活性剂

AE——脂肪醇聚氧乙烯醚（简称醇醚），平平加，属可生物降解的表面活性剂。$C_{12}H_{25}-(OC_2H_4)_7OH$ 高碳脂肪醇C>12属可生物降解的表面活性剂。

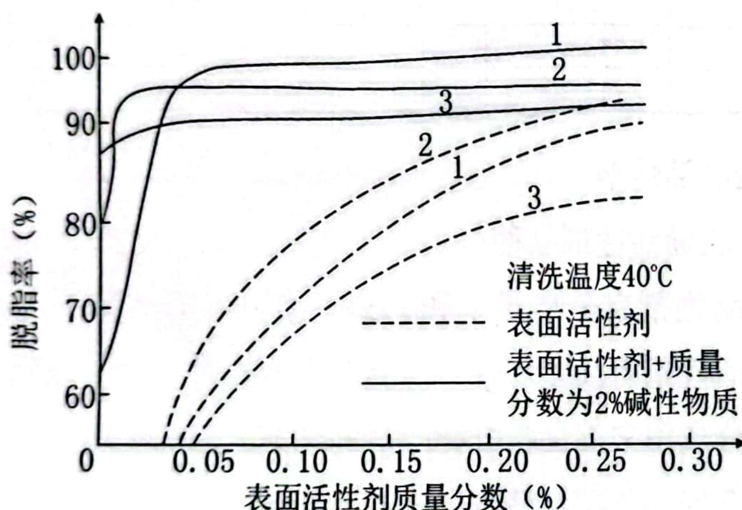
APE——烷基酚聚氧乙烯醚（壬基酚等与环氧乙烷缩合物），属不可生物降解的表面活性剂。

OP系列——辛基酚聚氧乙烯醚，生物降解性差。

湿润剂——使工件表面湿润，使清洗剂能渗透到油污中。

防锈剂——使除去油脂的工件表面防锈。

单纯的碱性物质或表面活性剂的脱脂效果不一定好，当二者结合其脱脂效果就显著的增加。图3-1为在2%质量分数的碱性物质中加入少量的表面活性剂的脱脂效果。



1.清洗FY-5防锈油　2.清洗L-AN68润滑油　3.清洗3号拉延油

图3-1　表面活性剂与碱性物质的配合清洗效果

四、清洗原理

图3-2显示在脱脂清洗过程中黏附在工件表面上的油污被清洗的过程。黏附在工件表面上的油污在有一定温度的脱脂液中变得易于流动，在预脱脂工序因喷射的液流而冲刷下来，在浸洗过程中油

脂被表面活性剂乳化在脱脂液中，最后在清洗工序完全被冲洗掉。

对于简单的工件，采用喷洗的方式即可，但对复杂的工件如汽车车身，单纯的喷洗对车身内部就起不到脱脂的作用，必须采用喷/浸结合的清洗方式。图3-3显示车身在间歇式预脱脂槽中喷淋的状况，图3-4显示车身在脱脂槽中浸渍清洗的状况。表3-3中列举了喷洗工艺与浸洗工艺的对比。

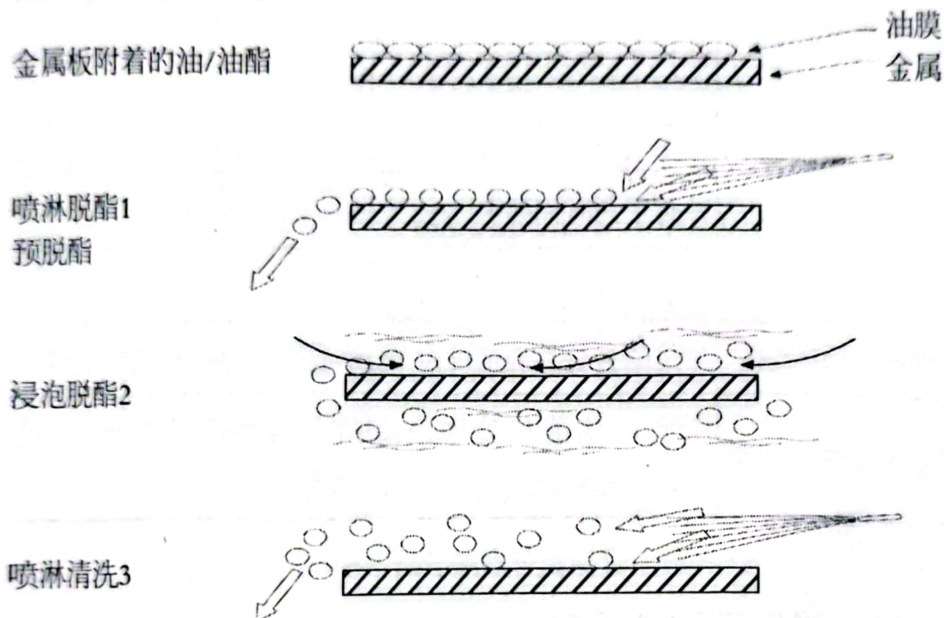


图3-2 脱脂清洗过程中黏附在工件表面上的油污被清洗的过程



图3-3 槽内喷淋

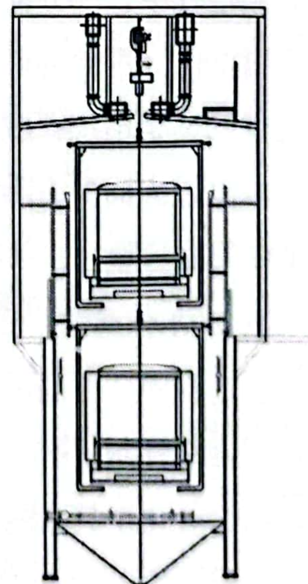


图3-4 车身浸洗

表3-3 喷洗工艺与浸洗工艺的对比

项 目	浸洗工艺	喷射工艺
设备结构	较简单，槽壁距工件250~300mm，并配有溶液搅拌系统，2次/h	较复杂，按工艺时间和链速排布喷管长度。喷射量按通过面积为15~20L/m^2·min
设备制造维护	易	难，每天更换1/3喷嘴
工艺参数维护	药品浓度、温度变化小	药品浓度、温度变化大
所需工艺时间	较长	较短
工作液体积	较大，应可容纳最大工件并有工艺时间要求	较小，相当于泵流量5~8min的体积
工作液热量损失	小	大
化学药品适应性	常见的各种处理剂可用	不适用于泡沫多的处理剂
对复杂工件的处理	所有面均能与处理液接触，并处理好	喷不到的内腔及屏蔽处不能处理

五、脱脂液除油设备

在脱脂过程中，部分动植物油脂为碱性化合物皂化而溶在脱脂槽液中，占油污大部分的矿物油是为表面活性剂乳化在槽液中。随着清洗工件的面积增加，脱脂液中的油污不断增加，最后因脱脂液中的油污浓度过大而失去除油作用。因此要采用一定的方法不断地将脱脂液中的油污除去，保证脱脂液中的含油量<0.5%。

1. 加热油水分离法

在脱脂过程中，占油污大部分的矿物油被表面活性剂乳化在槽液中。而表面活性剂都有一个浊点，在浊点的温度以上，表面活性剂就会析出，乳化至其中的油脂也同时析出。加热油水分离法就是基于此原理设计的。图3-5即为加热油水分离装置示意图。

CamScanner

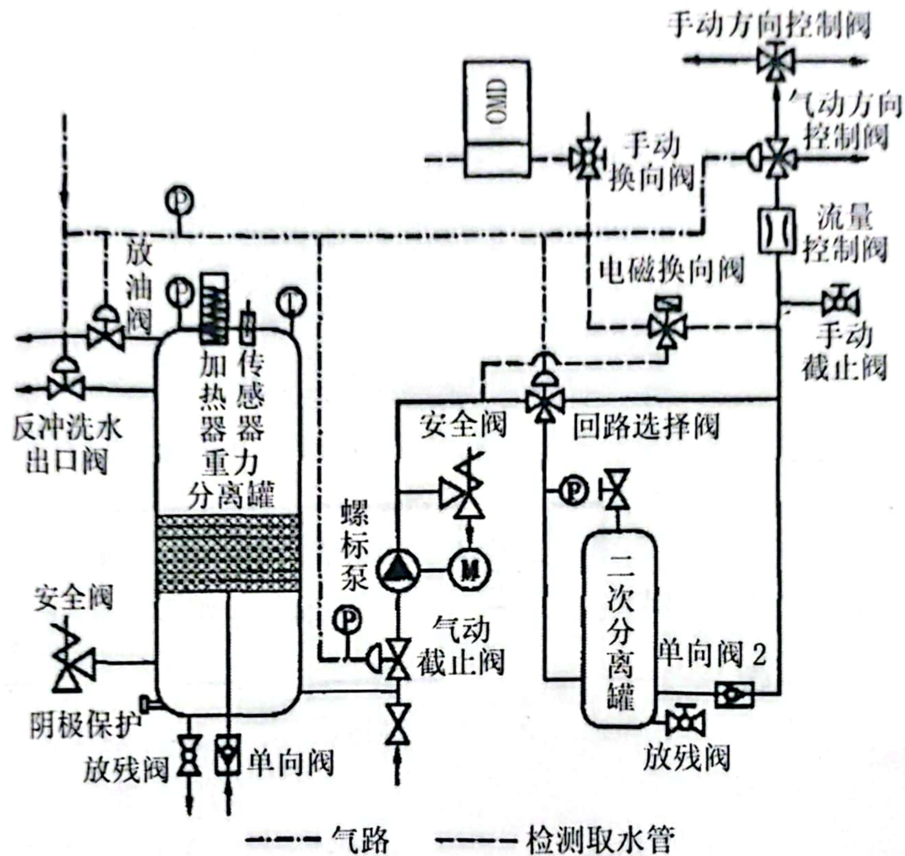


图3-5　加热油水分离装置示意

2. 带式除油机

脱脂槽中的浮油一般都积聚在水泵入口的辅槽上，带式除油机（图3-6）是由旋转的胶带将液面上的浮油带出并通过刮板将油污刮下。通过不停的运转可将液面上的油污带出。

3. 超滤法油水分离装置

超滤装置可以将脱脂液中分子量超过500以上的油污及乳化剂均分离出去，可溶性的碱性物质留下（图3-7）。随着超滤设备的运行，脱脂液中的表面活性剂含量降低，因此脱脂槽中需添加乳化剂。现今很多脱脂剂配方分为A剂和B剂，其中A剂为碱性物质，B剂为乳化剂溶液，即可满足以上工艺要求。

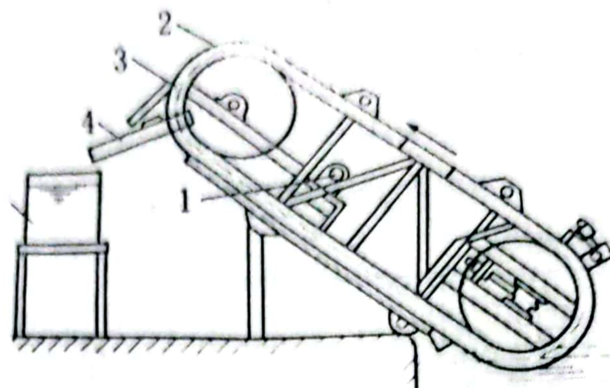


图3-6　带式除油机示意图

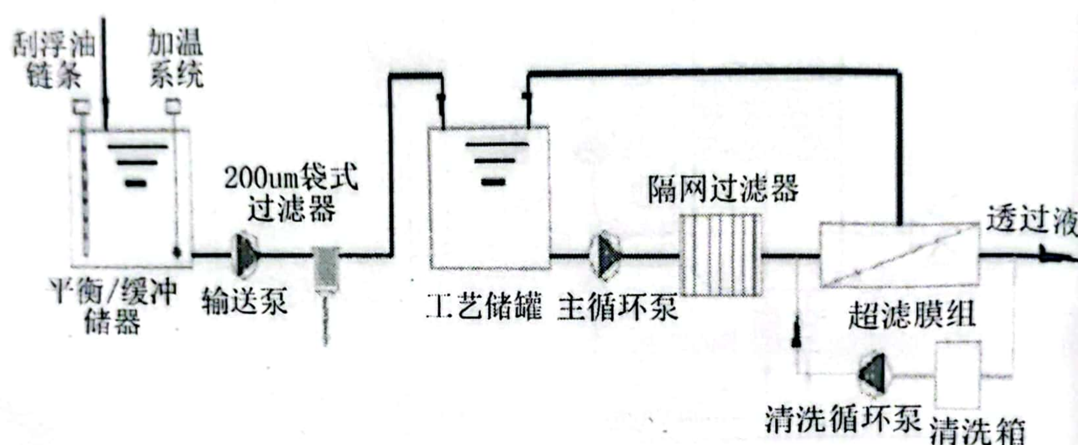


图3-7　超滤法油水分离过程

4. 高速离心分离法油水分离装置

ALFA Z3设备在切削液的回收系统使用良好。Z3是一款碟片式的高速离心分离设备，原液通过其高达9 000～10 000的转速分离后有3个分离层面分别从不同的通道排出。

a）是干净的脱脂液。

b）分离出来的浓缩油。

c）1～50um的渣（可以降低颗粒，减少过滤滤料）。

如图3-8所示，左侧为使用Z3后的脱脂液，其清洁度相对于右侧的未使用Z3的脱脂液明显改善很多。这足以证明Z3的除油和除渣效果远比加热除油的效果好。

CamScanner



图3-8　ALFA Z3设备用于油水分离的效果

对脱脂液取样进行槽液油含量变化分析，其中前8天抽检4组数据对比结果（见表3-4）。

表3-4　槽液油含量变化分析

运行时间	油含量（ppm）	
	现有的加热式油水分离设备	ALFApure Z3
第1天	292	292
第3天	998	259
第7天	2052	321
第8天	2352	447

5. 过滤法油水分离器行业发展的新技术（详见图3-9）

a）机能分离和适应性

组合＼机能		浮游分离	吸附分离	过滤	适合对象涂的段工
Ⅰ	OZ	O			初段脱脂工作
Ⅱ	OZ	O	O		初段脱脂工作
Ⅲ	OY	O	O	O	初程脱脂电解脱脂工程
Ⅳ			O		
Ⅶ	OX		O	O	酸洗净·电解脱脂
Ⅷ	XYL			O	

CamScanner

b）标准规格

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]	[illegible]		
							[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
OX规格	新式4KAO	3,000	1.0	三相 0.75	830×670×1094	约150	(40A) 1½B		¾B	铁		No.59−09
	F30AO	6,000	2.5	三相 0.75	1168×828×1323	约290	(40A) 1½B		1B	铁		No.59−09
	F40AO	12,000	5.0	三相 1.5	1370×1175×1550（带起吊工具 2250）	约360	(40A) 1½B		1B	铁		No.59−09
OY规格	OY−30	1,000	2.5	三相 0.4	700×1400×1570	约350	(40A) 1½B	(20A) 1B	—	铁		No.59−09
	OY−40	2,000	5.0	三相 0.75	700×1650×1770（带起吊工具 2250）	约430	(40A) 1½B	(25A) 1B	—	铁		No.59−09
OZ规格	OZ−10		—	三相 0.2	770×750×1450	约185	(20A) 1B		—	—		—
	OZ−20		—	三相 0.4	790×760×1970	约530	(25A) 1B		—	—		—

c）基本流程图

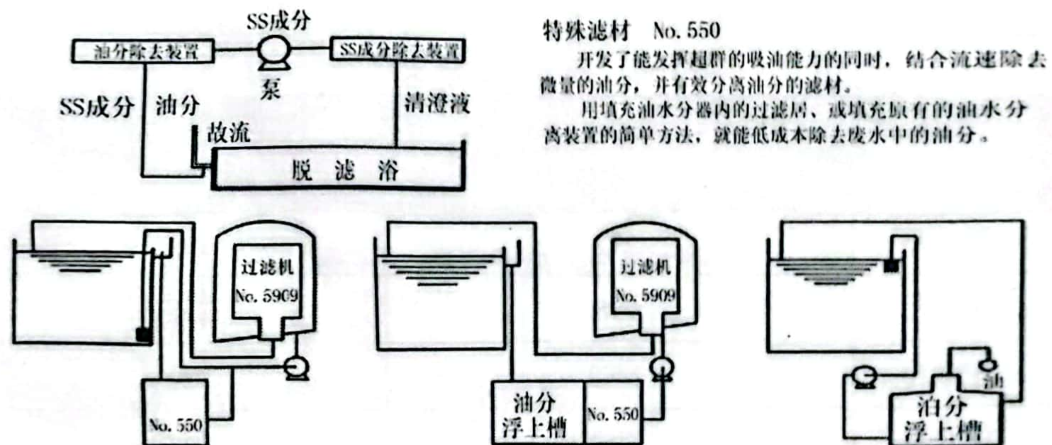


图3-9 过滤法油水分离器

六、除铁粉装置

汽车车身电泳涂装底漆以后出现的颗粒经分析大部分颗粒内部包含有铁粉，这些铁粉是在车身冲压、焊接、打磨过程中产生的，其后虽经脱脂、磷化、水洗，由于磁性的原因铁粉仍然牢牢地附着在工件的表面上。实践证明这些铁粉在脱脂过程中被从工件上冲洗下来，然后又因磁性的原因而吸附到工件上。因此人们在脱脂槽液过滤器上加装磁性物体以吸附脱脂槽液中的铁粉，结果表明这一措

施的确有效。加装的磁性体可以是永磁体也可以是电磁体。

图3-10显示的是电磁体，在过滤器外设置电磁线圈，通电后使过滤器本体形成一个铁磁体吸附随过滤槽液流经的铁粉，一定时间以后关闭过滤器后关闭电源，铁粉失去磁力并被清洗除去。

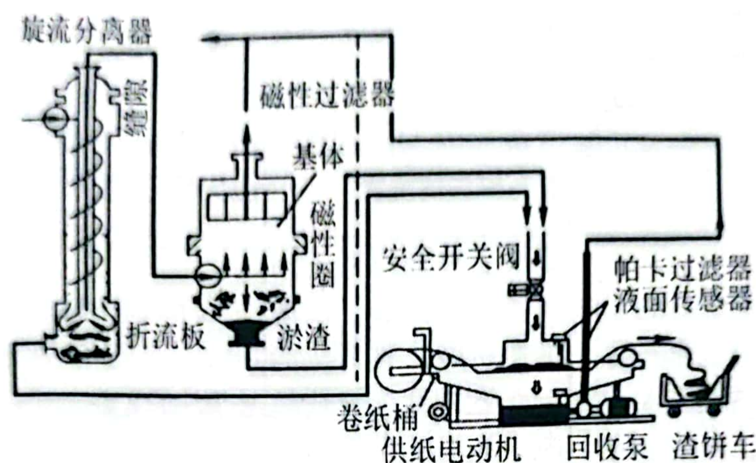


图3-10　除铁粉装置原理

七、清洗的缺陷与对策

表3-5　清洗的缺陷与对策

缺陷	现象	原因	对策
可见残油	工件的表面局部或大面积有可见油污，工件表面不亲水	1. 工件的局部油污过重 2. 清洗槽中表面油污太多，造成工件出槽时油污重新黏附在工件表面上 3. 喷嘴堵塞，流量不足	1. 先采用有机溶剂擦或洗去重油污 2. 每天清理槽液上的油污1～2次，且工件出槽后，最好用热水冲洗，清洗槽中含油量高时，必须更换清洗槽液 3. 定期检查水嘴情况，发现有堵塞喷嘴时，及时进行清洗
泡沫溢出槽外	在喷射清洗过程中，清洗槽中泡沫从槽液中溢出	1. 清洗剂自身的泡沫多，不适宜高压喷射工艺 2. 清洗槽温度太低或喷射压力过大	1. 更换清洗剂，选用少泡、无泡的专用清洗剂 2. 提高清洗槽温度或减小喷射压力

续表

缺陷	现象	原因	对策
眼睛看不见的油膜	工件的表面有一层看不见的油膜，用水清洗时，工件表面水膜不均	1. 清洗不彻底，显示表面活性剂的除油效果差 2. 清洗液中的油污又黏附在工件的表面上	1. 选择合适的清洗剂和清洗工艺 2. 更换清洗液 3. 保证清洗水的洁净度
表面碱点	表调剂失效，磷化后磷化膜不均	清洗后的工件表面残留有碱性清洗液	增加漂洗工序及出槽喷射清洗，保证清洗水洁净度
清洗后的工件生锈	清洗后的工件经过漂洗后，还没进入下道工序前生锈	清洗工序与下道工序间隔时间太长，清洗机停机时，被清洗的工件还滞留在清洗机内，高温的环境造成锈蚀	在工序间增加喷湿装置，停机时，清洗机内不允许停放被清洗的工件

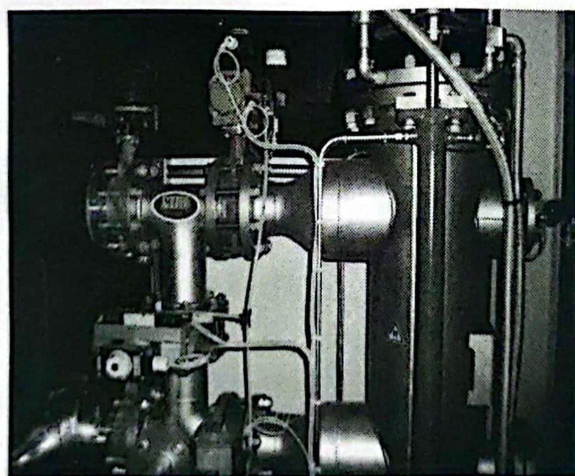


图3-11 磁分离除渣系统

八、超声波清洗

表3-6 超声波清洗

原理	清洗液中辐射声波产生超声空化效应，清洗中产生大量气泡，随着声波振动及生成和闭合，形成压强为几十至几百兆帕的冲击波，使工件表面的污垢和油污剥落，超声波振动起到搅拌作用，加速清洗、乳化的过程

CamScanner

续表

设备	超声波槽体 超声波换能器 超声频电动率源 电源
使用频率	低频、高频、双频、调频
使用溶液	水性清洗剂溶液、有机溶剂
工艺	浸泡——超声清洗——水清洗——超声清洗——去离子水喷洗——烘干

九、脱脂技术的发展趋势

前处理是各种金属件涂装的重要工序，是漆膜具有良好的附着力和耐蚀性的基础，同时前处理又是涂装过程中能源消耗最高和污染物排放最多的环节之一。前处理线和前处理材料的发展以减少公害、节约能源、降低成本、提高质量为核心。随着膜技术的不断成熟，采用膜分离技术回收脱脂液，再生清洗水和前处理废水；以节能环保为目标，普遍采用无磷、无镍、无铬、低温、可生物降解的前处理材料。脱脂技术的发展趋势如下：

1）采用环保型低泡脱脂剂，常温脱脂。使用可生物降解表面活性剂，非离子型，低泡，高清洗能力可生物降解表面活性剂（不使用APEO烷基酚-乙氧基化合物），不断降低清洗剂的浓度和温度，达到节能环保目的。

2）无磷脱脂剂，降低封闭海域富养化。氮、磷的化合物容易引起水域特别是封闭水域的富营养化，使水中的藻类大量繁殖，污染河流湖泊，国内外都已要求采用无磷的脱脂剂，包括民用的洗涤剂。

3）不含硅酸盐，对镀锌无腐蚀性。最初使用无磷脱脂剂时，人们认为最有可能代替磷酸盐的化合物是硅酸盐，但在使用中发现硅酸盐对越来越广泛采用的镀锌钢板有腐蚀性，而且脱脂后的清洗也

CamScanner

比较困难。

4）采用双组份液体脱脂剂。涂装车间最忌讳的是粉尘，采用粉剂脱脂剂既污染环境又不方便添加，同时在采用UF除油设备后脱脂槽液的成分发生变化，其中表面活性剂成分减少，采用双组份液体脱脂剂（分A剂-表面活性剂溶液，B剂-碱性物质水溶液）解决了添加的难题。

5）在设备改进方面，采用了如超滤、袋式过滤器加磁棒等设备，进一步解决环保及因铁粉磁性吸附而产生的漆膜颗粒问题。

第二节　金属除锈工艺

冷轧钢板轧制以后靠涂防锈油防锈，而厚的热轧钢板表面一般都有氧化皮和铁锈。批量生产的各种零件由于生产周期长，也会不同程度的存在锈蚀，在涂漆之前必须将锈蚀除去，否则会影响漆膜的附着力、装饰性和使用寿命。

除锈的方式有机械除锈方法和化学除锈方法。在实际运用中二者均被广泛地采用见图3-12。

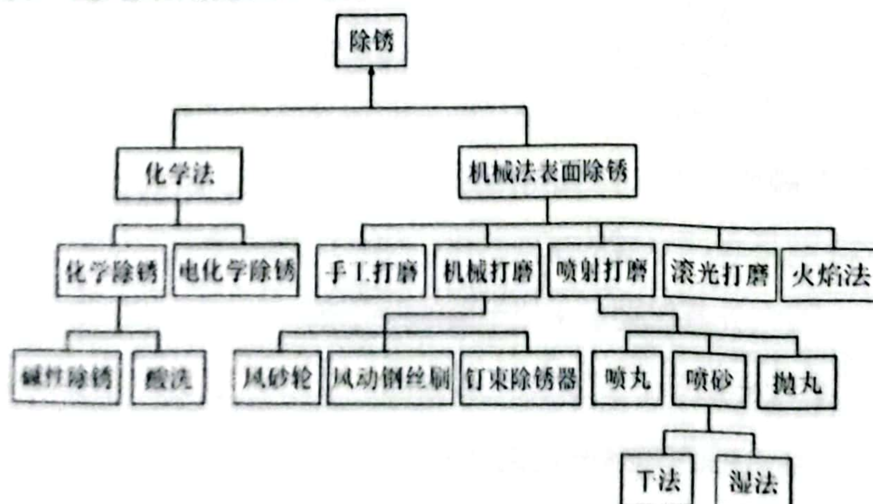


图3-12　除锈工艺及设备

一、机械除锈

参见表3-7和表3-8。

1. 手工除锈

涂装前的手工除锈是采用钢丝刷、铿刀、打磨砂布、砂纸等以人工方式将锈蚀除去。手工除锈方法简单，但生产效率低，劳动强度大，操作环境恶劣。所以，手工除锈仅应用于局部修理或机械除锈和喷丸除锈难于进行的地方。

2. 风动或电动工具除锈

风动或电动除锈工具有风动砂轮、针束除锈器、风动钢丝刷、风动齿型旋转式除锈器及风动、电动平面打磨机等。它们是以压缩空气或电能为动力，使除锈器产生圆周运动或往复运动，与被加工表面接触时利用摩擦力或冲击力达到除锈的目的。

风动砂轮、针束除锈器（适用于除焊接缝的焊渣）仅限于较厚的钢板除锈，带圆形砂纸片的平面打磨机可以作为涂装前的精加工除锈。

3. 喷砂（丸）除锈

喷砂（丸）除锈方法主要有喷丸（铁丸、钢丸、钢丝段、金刚砂等）和水力喷砂等。喷砂（丸）除锈较手工除锈和风动工具除锈可大大地提高了除锈质量、工作效率，并降低了劳动强度，对钢材表面能起强化作用。喷砂（丸）后钢材表面形成一定的表面粗糙度，有利于漆膜附着，但是由于涂层在干燥过程中的流平性而使表面突出部位涂层过薄而影响防腐蚀性能，因此要求喷砂特别是喷钢丝段的工序后表面粗糙度不大于涂层厚度的1/3，即涂层厚度为20um则表面粗糙度≤7um。喷砂（丸）除锈方法仅适用于厚板工件除锈及铸、锻件除锈清砂，不适用于薄板件除锈，以免产生变形。

喷砂（丸）除锈必须要有专用的设备，而且有一定的噪声，特别是人工操作的喷砂设备，操作人员需戴特殊的帽盔和穿防护服。

4. 抛丸清理技术

CamScanner

在涂装生产线中，遇到一些铸件或热轧厚钢板件，如汽车车架、车轮、油缸及发动机壳等，工件表面有一层氧化皮或杂物，涂装前必须清除掉。氧化皮的清除方法有两种：酸洗或抛丸。酸洗工作条件恶劣，对环境污染严重，应尽量少用。抛丸机采用多工位定点旋转、抛射，可将工件表面的油污、锈渍、氧化皮彻底清除干净。

抛丸清理一般是一个独立操作系统（图3-13、图3-14），待工件清理完后转入涂装线。也可与涂装作业形成一条生产线，但多适于步进式输送，以防灰尘外溢；其次也适用于U型输送方式，但在进出口处应尽量做好密封。

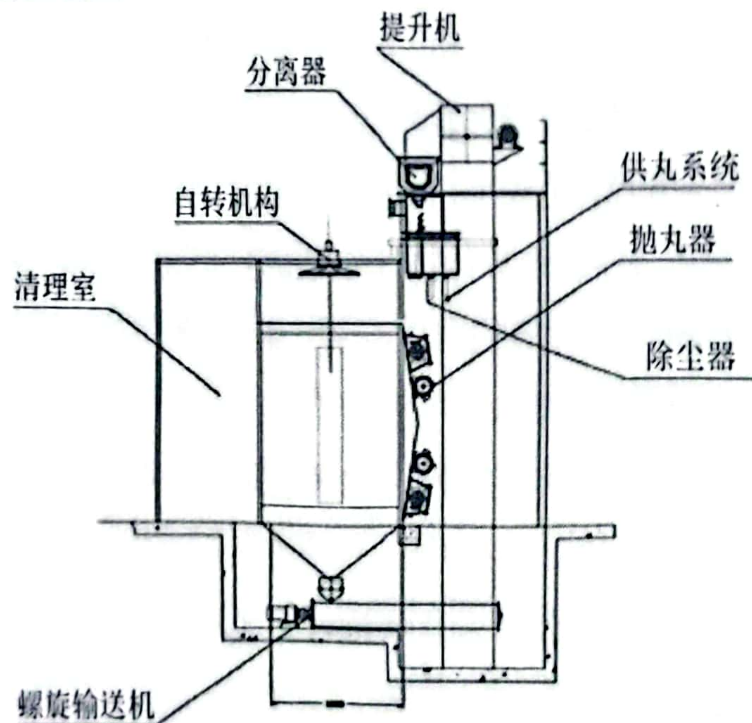


图3-13　抛丸系统示意

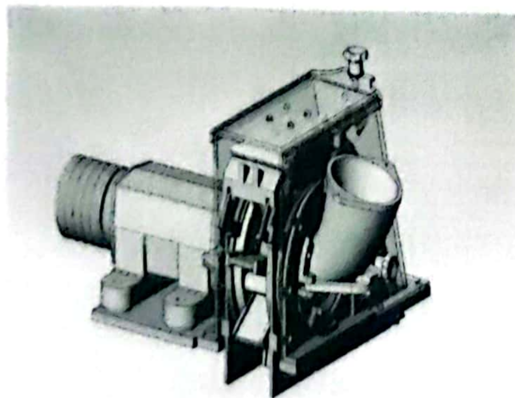


图3-14　抛丸器总成

CamScanner

表3-7　机械除锈方法比较

	手工除锈	手工机械除锈	喷丸（砂）除锈	抛丸除锈	滚光除锈
工作原理	手工用砂纸或砂布、钢丝刷把锈打磨光	利用压缩空气或电能为动力使除锈器作圆周或往复运动，将金属表面的锈用摩擦力或冲击力除去	利用压缩空气或高压水将铁丸、石英砂等从喷嘴喷出，冲击金属表面的氧化皮、铁锈等达到除锈目的	用高速转动的叶轮将钢丸抛出，以高速的钢丸冲击钢材表面达到除锈	带锈工件与磨料一起在滚筒内旋转或振动，磨料直接将工件表面的锈磨去
工具	砂纸、砂布、钢丝刷、刮刀等	风砂轮、风动钢丝刷、齿形除锈器	喷砂、喷丸机、喷砂室、钢丸、石英砂、除尘器	抛丸机、石英砂、铁丸、抛丸室、除尘器	滚筒、砂子、金刚砂等
工作效率	工作效率低	工作效率不高	工作效率高	工作效率极高	工作效率一般
优、缺点	操作简单，劳动强度大，除锈不彻底，适用于工作量不大，其他除锈方法难以进行的场合	设备简单，使用方便，粉尘大，适用于固定的小面积氧化皮、焊渣等的去除	除锈质量高，劳动强度低，对工件表面起冷作硬化作用和消除应力，噪音较大，适用于铸件、锻件及厚钢板氧化皮的锈蚀去除	除锈效率高，经济。叶轮磨损大。除锈质量高，劳动强度低，对工件表面起冷作硬化作用和消除应力，噪音较大，适用于铸件、锻件及厚钢板氧化皮、锈蚀去除	可将工件的锈、毛刺、尖角去除，适用于批量较大的小件的除锈

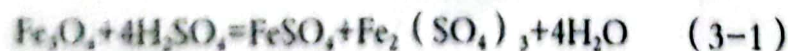
表3-8 砂纸和砂布的分类及用途

粒度	标号（粒度）				用途①		对打磨过涂面粗糙度Ra/μm
	中国	日本JIS	英国、美国	μm②	木工涂装	金属涂装	
超微细目	600	600		28	湿打磨面漆层（C）（A） 干打磨（G）（A）	面漆层（C）（A）	2.5
	500	500		34			—
	400	400	1 010	40			4
超极细目	360	360		48		湿打磨中间涂层（C）（A）	5
	320	320	910	57			7
	280	280	810	67			9
	240	240	710	80			12
极细目	220	220	610	105		腻子层（C）（A）	18
	180	180	510	125			25
细目	150	150	410	149	手工磨光底板 机械磨光底板（G）	干打磨腻子层（E）	
	120	120	310	177			
	100	100	210	210			
中目	80	80	0	297		打磨除锈（E）	
	60	60	1/2	420			
粗目	50	50	0	约545			
	40	40	1/2	约740	（F）		
极粗目	36	36	11/2	840	（G）		
	30	30	21/2	1 000	（A）		

注：①所用磨料代号为（G）——拓榴石、（A）——氧化铝、（C）——碳化硅、（E）——金刚石、（F）——火石。②为平均粒径。

二、化学除锈

金属的锈蚀产物主要是金属氧化物。化学除锈是利用酸与这些金属氧化物反应生成可溶性盐而除掉金属表面的锈蚀产物。例如采用硫酸处理钢板表面的氧化皮和铁锈时产生下列化学反应：



$$Fe_3O_4+4H_2SO_4=FeSO_4+Fe_2(SO_4)_3+4H_2O \qquad (3-1)$$



$$Fe_2O_3+3H_2SO_4=Fe_2(SO_4)_3+3H_2O \qquad (3-2)$$



$$FeO+H_2SO_4=FeSO_4+H_2O \quad (3-3)$$



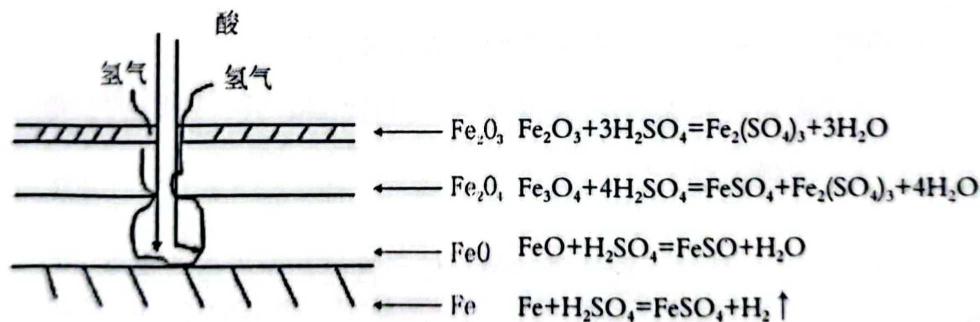
$$Fe+H_2SO_4=FeSO_4+H_2\uparrow \quad (3-4)$$

化学反应式（3–4）产生的氢，从金属表面析出时，对锈蚀产物产生压力，使氧化物疏松并剥落下来。

由于除锈过程中有氢的析出，而氢原子很容易扩散至金属内部，导致金属的韧性、延展性和塑性降低，脆性及硬度提高，即发生所谓的“氢脆”。（氢气从酸液中溢出时带出酸气，对人员和操作环境有很大的影响。）

由于金属表面锈蚀程度不同，上述的4种化学反应在金属表面上可同时进行，对于除锈的反应是有利的，但铁与酸的反应则是我们不希望的，它会产生过蚀现象，因此在酸洗除锈中应该抑制。

改善酸洗除锈处理过程，缩短酸洗时间，防止产生过蚀、氢脆及减少酸雾，需在酸洗液中加入各种助剂，如缓蚀剂、润湿剂、抑雾剂等（图3–15）。



1. 酸与铁锈起反应除去铁锈。
2. 产生的氢气产生压力，将氧化物疏松剥落。
3. 氢会扩散至金属内部造成氢脆，并造成过蚀，可加入缓蚀剂以防止。

图3–15　酸洗原理

1. 酸洗液的组成

（1）酸　10%～20%

酸洗常用的酸为硫酸、盐酸、磷酸等无机酸，但也有用有机酸的。无机酸除锈效率高，原料来源广，价格低廉，生产应用比较广

泛。但使用无机酸应注意以下两点：

a）盐酸在常温下，酸洗效果较好，而硫酸、磷酸在常温下反应速度慢，适当加温能显著提高反应速度。例如硫酸酸洗以温度17℃时的反应速度为1，在温度80℃时反应速度提高了20倍。

b）酸洗用酸对酸洗后零件的处理影响很大。采用硫酸或盐酸酸洗后，如果清洗不彻底，对涂膜的保护性能有很坏的影响。采用磷酸酸洗则没有这些缺点。对酸洗后的磷化处理，前者必须采用表面调整，否则将严重影响磷化效果，而磷酸酸洗则没有这种影响。

（2）酸洗抑制剂（缓蚀剂）<1%，防止氢脆和过腐蚀

$$缓蚀效率=\frac{W_1-W_2}{W_1}\%$$

注：W_1为无缓蚀剂时试样失重，W_2为有缓蚀剂时试样失重。

在一定范围内，缓蚀剂对金属的保护作用随着加入量的增加而提高，但超过一定量就不再提高。

缓蚀剂的缓蚀效果随着酸洗温度的升高而降低，甚至失效。因此，每种缓蚀剂都有一定的允许使用温度（表3-9）。

缓蚀剂随着酸洗液的使用时间增长而效率降低，所以应定期向酸洗液中补加缓蚀剂。

表3-9　各种缓蚀剂的添加量、使用性能和允许使用温度

名称	添加量 g/L	缓蚀效率%			允许使用温度℃
		硫酸	盐酸	磷酸	
乌洛托品	5	70.4	89.6	-	40
若丁	5	96.3	-	98.3	80
硫尿	4	74.0	-	93.4	60
IMC-10缓蚀剂	2	>98	>98	-	50

（3）润湿剂（润湿，渗透，乳化，分散）

酸洗润湿剂一般为非离子型或阴离子型表面活性剂，利用其具

有的润湿、乳化去污、分散作用，可以改善酸洗过程并缩短酸洗时间。常用的润湿剂有平平加、OP乳化剂等。OP-10的加入量为10g/L左右，平平加的使用量比OP乳化剂增加20%左右。

通常的酸洗工艺为：碱液脱脂→热水洗→酸洗→冷水洗→碱中和→水洗。

2. 酸洗工艺的控制

1）酸洗的工艺参数包括酸洗液种类、温度、浓度、亚铁含量及酸洗液的搅拌形式（表3-10）。

表3-10　酸洗速度与酸浓度及温度的关系

盐酸浓度（%）	酸洗时间（mm）			硫酸浓度（%）	酸洗时间（min）		
2	95			5	135		
5	55			10	120		
10	18			15	85		
15	15			20	50		
20	10			25	30		
25	9						
	18℃	40℃	60℃		18℃	40℃	60℃
5	55	15	5	5	135	45	13
10	18	6	2	10	120	32	8

注：缓蚀剂的使用量根据种类不同为0.1%~0.5%。

2）酸洗液中Fe离子浓度的影响。在硫酸酸洗工艺中，当$FeSO_4$含量达到一定值时，溶解能力下降，应更换酸洗液。盐酸酸洗工艺中，酸洗液中Fe含量为16%时，除锈能力最强，补加新酸可保持除锈速度，但如果$FeCl_2$含量过高时，会结晶析出附着在钢材表面（表3-11）。

3. 酸洗工艺的选择

小批量，脱脂酸洗二合一；大批量生产，脱脂与酸洗分开。

工艺流程：脱脂——水洗——酸洗——水洗——中和——水洗——防锈。

表3-11　硫酸和盐酸酸洗工艺对比

项目	硫酸酸洗工艺	盐酸酸洗工艺
除锈能力	有78%的氧化皮靠机械剥离除去，酸溶为辅	化学溶解除锈率高，机械剥离约占30%
提高酸浓度	除锈速度加快，酸洗浓度为5%～25%	除锈速度加快，浓度高过蚀大，酸雾大，酸洗浓度应为6%—20%
提高温度	除锈能力提高，酸洗温度为50~70 ℃	提高温度，除锈能力提高不如硫酸大，酸雾增加，酸洗温度为20～40℃
酸洗液中Fe离子浓度影响	当$FeSO_4$含量达到一定值时，溶解能力下降，应更换酸洗液	酸洗液中Fe含量为16%时，除锈能力最强，补加新酸可保持除锈速度，但$FeCL_2$含量过高时，会结晶析出附着在钢材表面
过腐蚀与氢脆	比盐酸易发生氢脆，加入缓蚀剂可减轻	比硫酸易发生过蚀现象，特别是Fe离子含量大于16%或酸洗时间过长
酸洗后表面质量	表面附有黑灰	表面质量好
对设备要求	要求有耐腐蚀性能	对耐腐蚀性能有特殊要求

第三节　磷化处理技术

化学成膜处理是将金属表面（经过脱脂处理）通过化学反应生成一层非金属、不导电的多孔的转化膜的过程。钢铁或镀锌钢板、锌合金件等多采用磷化处理，而铝合金件多采用铬酸盐成膜处理。经过化学处理的工件，涂料可渗入到转化膜的孔隙中，提高了涂层的附着力。另外，转化膜使金属表面由优良导体变为不良导体，从而抑

CamScanner

制了金属表面的微电池的形成，可以成倍地提高涂层的耐腐蚀性能和耐水性能。因此，在汽车行业中，薄板件几乎100%采用磷化处理。

一、磷化的作用

1）提高基体与涂层的附着力，增加涂层与金属接触的表面积。

2）提高耐蚀性。磷化膜是非活性的，形成抗水和氧扩散的屏障，一旦涂膜破裂可使涂膜裂纹处的腐蚀延迟，减小涂膜下的腐蚀电流。

3）具有润滑作用，改善材料的冷加工性能，如拉丝、拉管、挤压、冷拔的质量。

4）锰盐磷化膜可改善表面摩擦学性能以促进其滑动，提高齿轮的耐磨性能。

5）充当电绝缘层。

因磷化处理液中的成分不同，生成的磷化膜的成分也不同，其作用也不同。表3-12按磷化膜的成分进行分了类。

表3-12　磷化膜的成分分类

分类	缩写符号	磷化槽液主要成分	磷化膜主要成分	不同基体上磷化膜质量g/m²				说明
				铁	铝	锌	镉	
锌系	Znph	ZnH_2PO_4	磷酸锌	1～40	0.3～10	1～40	1～20	1. 所有磷化膜均含有被处理金属离子成分 2. 按磷化膜质量也可分为次轻量级0.2~1.0g/m² 轻量级1.1~4.5g/m² 次重量级4.6~7.5g/m² 重量级>7.5g/m² 一般油漆底层磷化膜选用轻量级
	Zncaph	Zn，Ca H_2PO_4	磷酸锌钙	1～15		1～10		
	ZnMnph	Zn.Mn.Ni H_2PO_4	磷酸锌磷酸锌锰等	1～40		1～10		
锰系	Mnph	$Mn.H_2PO_4$	磷酸锰	1～40				
铁系	Feph	$Na.NH_4.H_2PO_4$	金属磷酸盐及氧化物	0.1～1.5	<0.3	0.1～2		

按照生成的磷化膜质量、成分的不同而产生用途的不同进行分类（见表3-13）。

表3-13　磷化膜的质量、用途分类

分类	膜层质量/（g/m^2）	膜厚与膜层质量的关系	膜的组成	用途
次轻量级	0.2～1.0	膜厚（μm）与膜层质量（g/m^2）之比约为1	主要由磷酸铁、磷酸钙或其他金属的磷酸盐所组成	用作较大形变的钢铁工件的油漆底层
轻量级	1.1～4.5	1～2	主要由磷酸锌和（或）其他金属的磷酸盐所组成	用作油漆底层
次重量级	4.6～7.5	1.5～2	主要由磷酸锌和（或）其他金属的磷酸盐所组成	可作基本不发生形变的钢铁工件的油漆底层
重量级	>7.5	1.5～2.5	主要由磷酸锌、磷酸锰和（或）其他金属的磷酸盐所组成	不作油漆底层，单独作为防锈或耐磨层用

磷化液中的主要成分是锌、镍、锰、钙等的磷酸二氢盐、硝酸盐、有机酸盐、氟化物及催化剂。

锌、镍、锰、钙等的磷酸二氢盐主要生成磷化膜，镍、锰、钙等的磷酸二氢盐有细化晶粒提高P比的作用。

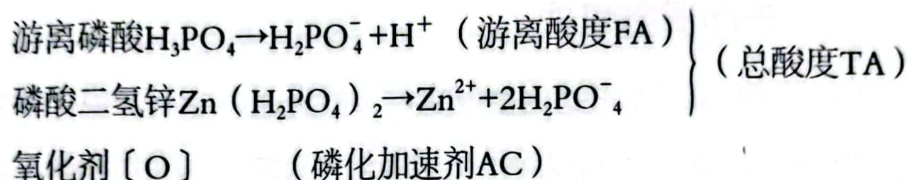
硝酸盐、有机酸盐有细化结晶和减少沉渣作用。硝酸盐及催化剂可以与磷化过程中工件表面上生成的氢起反应生成水，使表面pH值上升而使磷酸盐沉积在表面上成为磷化膜。

氟化物主要是被处理工件中含有铝件时必需的，可生成氟铝酸钠沉淀以除去对磷化有害的铝离子。

二、钢铁件磷化处理

1. 磷化反应机理

用于涂装前的磷化处理液（以锌盐磷化为例），主要由下列几种物质组成：



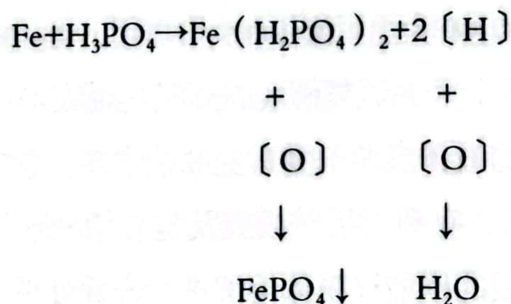
游离磷酸$H_3PO_4 \rightarrow H_2PO_4^- + H^+$（游离酸度FA）

磷酸二氢锌$Zn(H_2PO_4)_2 \rightarrow Zn^{2+} + 2H_2PO_4^-$

（总酸度TA）

氧化剂〔O〕　　（磷化加速剂AC）

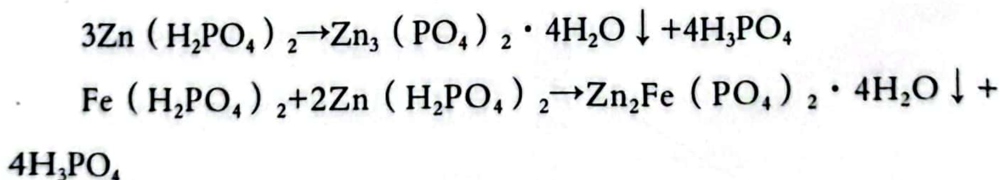
在磷化过程中，清洁的金属表面上的铁与磷化液反应：



$$Fe + H_3PO_4 \rightarrow Fe(H_2PO_4)_2 + 2[H]$$

$$Fe(H_2PO_4)_2 + [O] \downarrow FePO_4\downarrow \qquad 2[H] + [O] \downarrow H_2O$$

由于反应过程中H_3PO_4不断被消耗，钢铁与磷化液接触的界面上酸度下降，处理液的成分发生下列离解反应：

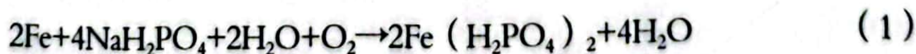


$$3Zn(H_2PO_4)_2 \rightarrow Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O\downarrow + 4H_3PO_4$$

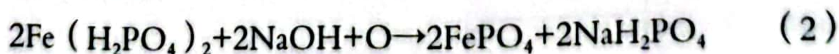
$$Fe(H_2PO_4)_2 + 2Zn(H_2PO_4)_2 \rightarrow Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O\downarrow + 4H_3PO_4$$

生成的不溶于水的$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$及$Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$并覆盖在金属表面上即形成了磷化膜。

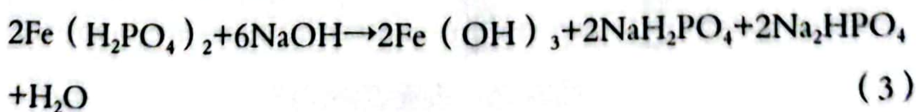
2. 铁系磷化原理



$$2Fe + 4NaH_2PO_4 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 2Fe(H_2PO_4)_2 + 4H_2O \qquad (1)$$



$$2Fe(H_2PO_4)_2 + 2NaOH + O \rightarrow 2FePO_4 + 2NaH_2PO_4 \qquad (2)$$



$$2Fe(H_2PO_4)_2 + 6NaOH \rightarrow 2Fe(OH)_3 + 2NaH_2PO_4 + 2Na_2HPO_4 + H_2O \qquad (3)$$

CS CamScanner



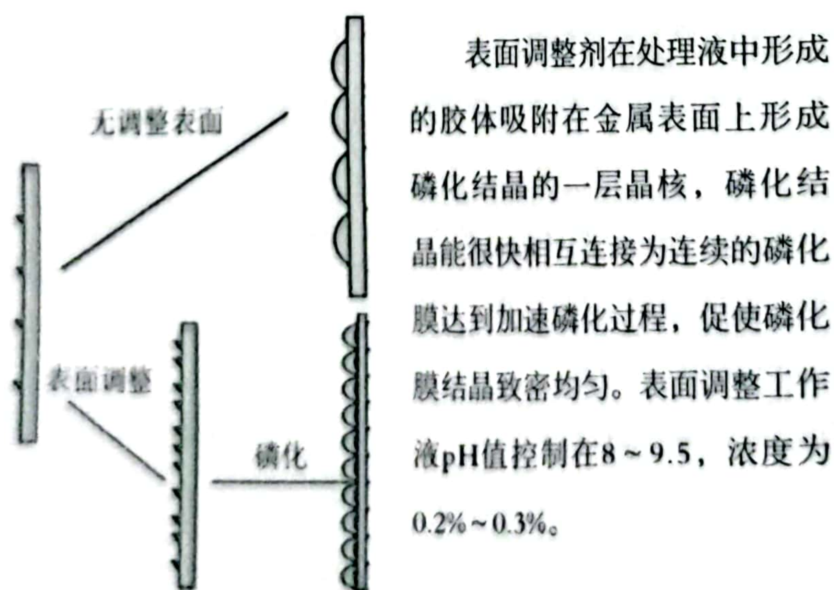
$$2Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3 + 3H_2O \quad (4)$$

形成的铁系磷化膜为非晶态的转化膜，耐蚀性有限，膜薄0.1～1g/m²，主要用于需要变形或防腐蚀质量要求不高的工件。如灯具、彩涂板、粉末喷涂等。

三、表面调整机理

经过强酸强碱处理过的金属表面会被钝化，不利于磷化膜的形成。因此经过强酸（磷酸除外）强碱处理过的金属工件在水洗之后磷化之前要进行表面调整，表面调整的原理如图3-16。由于采用的表调剂大多为磷酸的钛盐，工作液中形成钛的胶体溶液，当pH值在9.5以上时，胶体被碱溶解为透明液体而失去作用。当pH值低于8.0时，胶体会产生沉淀。因此表面调整槽液的pH要控制在8.0～9.5之间。

采用络合型的液体表调剂具有更高稳定性，含Ti浓度较低，可以做到4周一更新，有利于铝材成膜及延长槽液使用寿命。最新的表调剂采用纳米级的磷酸锌粉体溶液进行表面处理，附着在工件表面上的磷酸锌微粒被吸附在金属表面上形成磷化结晶的一层晶核，促进了磷化膜的生成。



表面调整剂在处理液中形成的胶体吸附在金属表面上形成磷化结晶的一层晶核，磷化结晶能很快相互连接为连续的磷化膜达到加速磷化过程，促使磷化膜结晶致密均匀。表面调整工作液pH值控制在8～9.5，浓度为0.2%～0.3%。

图3-16　表面调整示意

四、磷化工艺及控制

1. 影响涂装前磷化处理反应速度及磷化膜质量的因素

1）磷化处理液的游离酸度与总酸度。游离酸度是磷化液中H_3PO_4离解的氢离子浓度，它在磷化过程中与金属起反应而被消耗，引起界面pH上升，使$Zn(H_2PO_4)_2$生成$Zn_3(PO_4)_2$并附着在钢板表面上而形成磷化膜。如果游离酸度太高，界面上的pH值难于上升，反应始终是腐蚀反应，则磷化膜难以形成。但游离酸过低则与金属底材的反应难于进行，磷化膜生成速度很慢或不能生成。

总酸度是H^+及$H_2PO_4^-$浓度的总和，而绝大部分为$H_2PO_4^-$。$H_2PO_4^-$离解出的PO_4^{3-}是形成磷化膜的主要成分。$H_2PO_4^-$浓度太低（即总酸度低），也使磷化膜不能形成。

游离酸度与总酸度之比称之为酸比。对于不同的磷化处理剂其酸比要求不同，在磷化处理中要满足其酸比的要求（表3-14）。

表3-14　磷化工艺参数特性

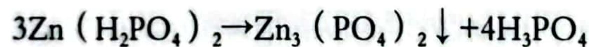
		工艺参数	说明
工作液浓度	游离酸	磷化反应先有酸腐蚀后形成磷化膜，游离酸低，反应难于进行，游离酸高，酸蚀反应一直进行，磷化膜不生成	1. 磷化液的成分对磷化膜质量影响很大，低锌磷化液具有高P比的优质磷化膜 2. 工件底材的影响，镀锌及锌合金件用低锌磷化液，含铝件用含氟离子磷化液
	总酸	提供生成磷化膜的磷酸根离子，浓度太低则磷化膜难于生成	
	酸比	酸比与磷化处理剂的配方、磷化温度关系极大，必须按所使用的磷化剂要求控制	
	催化剂	催化剂是去除生成物氢气所要求，因使用的催化剂不同而浓度不同，NO_2^-≥0.03% NO_3^-≥3%硫酸羟胺0.1%～0.2%	

CS CamScanner

续表

	工艺参数	说明
温度	磷化液的酸比与温度有如下关系，温度超标水解反应激烈，产生沉淀 磷化温度℃　60　50　40　30　20 酸比(FA/TA)1:7　1:10　1:15　1:20　1:30	3. 磷化前后处理影响：有表调能提高磷化膜质量。钝化提高磷化后涂层的耐腐蚀性和附着力，对低P比的磷化膜效果更好
磷化沉渣	磷化过程必有沉渣产生，必须随时除去，工作液沉渣控制在≤0.5%（v/v）	

2）温度的影响。磷化液的主要成分为磷酸二氢盐，属弱酸性盐。弱酸弱碱盐溶液一般随着温度的升高而水解反应加剧。磷化液中的$H_2PO_4^-$在磷化工作液温度上升时，除水解出H^+，同时也产生$Zn_3(PO_4)_2$的沉淀：



$$3Zn(H_2PO_4)_2 \rightarrow Zn_3(PO_4)_2\downarrow + 4H_3PO_4$$

随着水解反应的进行，游离酸度升高，其游离酸度与总酸度之比也随之改变。

磷化液的酸比与温度的关系（见表3-15）。即在一定的磷化温度下，正常工作的磷化液的酸比是固定的。低温（30℃以下）磷化的工作液，当温度失控上升（达到50℃）产生沉淀时，酸比自动调整至高温（50℃）时所对应的酸比（1：10）。但当温度下降至原来的低温（30℃）时，由于磷酸根已以磷酸锌形式沉淀，酸比不可能自动恢复，这时因酸比过高磷化膜将不会生成，必须采用中和剂中和掉部分游离磷酸，此时总酸度下降，需要补加磷化原液，因而白白浪费了磷化液的有效成分。

表3-15　磷化液的酸比与温度的关系

磷化液温度（℃）	60	50	40	30	20
酸比（游离酸度：总酸度）	1：7	1：10	1：15	1：20	1：30

3）催化剂的影响。磷化反应首先是铁与磷化液中的游离酸反应生成氢气，如果生成的氢气不及时除去，会覆盖在钢铁表面上，阻碍了磷化反应的进行。因此，磷化过程中要加一种氧化剂使所生成的氢马上被氧化成水而除去，以加速磷化反应处理过程。这种氧化剂叫做磷化催化剂（表3-16）或促进剂。一般常用的磷化催化剂有：亚硝酸盐或亚硝酸盐与氯酸盐催化剂，氯酸盐与有机物催化剂，硝酸盐催化剂、H_2O_2、硫酸羟胺、硝基胍等。

对催化剂的浓度有一定的要求，例如亚硝酸盐催化剂的浓度应达到3点（质量分数为0.03%）以上，而用硝酸盐作催化剂时，其硝酸根的浓度应达到磷化液质量分数的3%以上。

表3-16　新型磷化催化剂的特性

过氧化氢促进剂	无分解作用的产品 更适合喷淋使用 处理钢的最短时间1.5min 需要单独的中和剂 频繁检测促进剂 可实行封闭圈操作
羟氨促进工艺	更适合浸渍使用 氨离子由分解作用产生 促进剂内含在补充液中 偶尔检测促进剂点数 处理速度较亚硝酸盐工艺慢 Fe^{2+}参与成膜 低的硫酸盐浓度很重要 无镍工艺中稳定度有限
新型有机促进剂的无镍工艺	适应喷或浸 Fe^{2+}参与成膜 无需单独的中和剂 较宽的适用范围 促进剂容易滴加 可应用于低温度或短时间的条件 促进剂在无镍工艺中稳定

CS CamScanner

4）零件材质的影响。随着被处理零件的材质是钢铁、镀锌钢板、锌合金件、铝合金件等不同，磷化膜的成分与质量均不相同。钢铁零件中所含的杂质不同对零件的磷化过程也有一定的影响，其中铜能加速磷化反应的速度，而铝则能降低磷化反应的速度。

5）磷化处理剂成分的影响。随着磷化处理剂成分的不同，所生成磷化膜的成分也不相同。单纯的锌盐磷化液，其磷化膜可由$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$（英语为Hopeite，以H表示）和$Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$（Phosphophyllite，以P表示）组成。其中Fe为钢板表面溶解下来的Fe^{2+}参加了反应所生成的。试验结果表明，磷化膜中$Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$所占的比例越大，与涂层配套后的涂膜耐腐蚀性能越好，特别是采用电泳底漆的场合更加明显。由此引出了P比的概念。

$$磷化膜P比=\frac{Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O(质量)}{Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O(质量)+Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O(质量)}\times 100\%$$

用镍、锰等代替$Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$中的铁，也可达到相同的效果。因此，目前质量较好的磷化膜成分中均含有锌、镍、锰3种元素。因而P比的概念变为在X光衍射仪上，测定$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$（020）面和$Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$（100）面的X射线衍射峰强度，即H和P，然后计算出P比。优良的磷化液在冷轧钢板上采用全浸法施工时其P比可达到90%以上。

6）磷化前处理的影响。磷化前处理，即脱脂、除锈的过程，特别是采用强碱脱脂或采用HCl、H_2SO_4进行酸洗除锈的场合，需要进行表面调整工艺。表面调整工艺具有细化磷化晶粒、加快磷化反应速度、提高磷化膜质量等作用。

7）磷化处理方式的影响。磷化处理可采用喷射式、浸渍式或喷浸结合的处理方式。

一般采用喷射式磷化，反应速度快，但结晶较粗。而采用浸渍式磷化，反应速度较慢，但结晶细密且P比率高。其原因是喷射式磷化表面流速快，溶解的Fe^{2+}流失快，不易形成$Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$膜。而采用浸渍或喷浸结合处理方式，则容易形成$Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$膜。一般同一种磷化液，喷射式磷化的P比在70%以上，而浸渍式磷化的P比可达到90%以上（表3–17）。

表3–17　浸渍法磷化与喷射法磷化的区别

浸渍法	喷射法
适用于外形复杂零件，设备简单 较多量的表面活性剂，处理时间较长 温度较高 要求有适当搅拌 清洗效果较差 磷化结晶细 形成高P比磷化膜	处理时间较短温度较低 清洗效果好（0.1~0.4mPa） 不适宜有封闭内腔工件 维护工作量大 磷化结晶粗，喷射浸渍结合方式可克服

8）磷化后处理的影响。磷化后处理有钝化、烘干，可视其后的涂漆方法及质量要求而定。一般来说，采用钝化工艺可使涂层的耐腐蚀性能和附着力有所提高。采用烘干（在130℃以上），磷化膜组成可失去2个结晶水，使涂层具有较高的防腐蚀能力。

对于水洗，不论有无钝化处理或烘干工艺，都要求最后一道水洗采用新鲜去离子水洗，其水洗水的电导率要求在10μs/cm以下，而工件上的滴水电导率要求在50μs/cm以下。

2. 磷化工艺及控制

（1）磷化工艺

汽车车身流水线的磷化工艺见表3–18，其他要求较低的磷化工艺或产量较低的涂装前预处理工艺可在此基础上简化工序。

CamScanner

表3-18　汽车车身涂装前预处理工序

序号	工序名称	工艺条件	备注
1	手工预清理	手工擦净严重的油污及块状黄油	
2	热水洗	50～55℃，喷1min	可选择
3	预脱脂	50～55℃，喷1min（清洗水来自脱脂工序）	可选择
4	脱脂	55～65℃，喷或浸3min（1%～3%脱脂剂溶液）	对有箱形结构件需浸渍处理
5	水洗	室温，喷0.5 min（采用自来水）	
6	水洗	室温，喷或浸0.5 min（采用自来水）	对有箱形结构件需浸渍处理
7	表面调整	室 温，喷或浸　浸入即出	对有箱形结构件需浸渍处理，采用弱碱清洗时可选择
8	磷化处理	根据所选用的磷化液要求进行控制喷1.5～2min或浸3 min	对有箱形结构件需浸渍处理
9	水洗	室温，喷0.5 min（采用自来水）	
10	水洗	室温，全浸没　浸入即出	可选择
11	循环去离子水洗	室温，喷或浸	
12	新鲜去离子水洗	室 温，喷10～20s	产量小时可手工淋洗
13	烘干	130～150℃，10～20min	采用电泳涂装时可省略

（2）磷化工艺参数检测

a）游离酸度（FA） 中和滴定法

b）总酸度（TA） 中和滴定法

c）酸比（FA/TA）

d）催化剂（亚硝酸盐）含量 氧化还原滴定法

高锰酸钾滴定法：取样，用铁氰化钾溶液试验，当没有蓝色沉淀时取样10mL，用0.05M高锰酸钾滴定至紫色（高锰酸钾本身颜色）在数秒内不消失，消耗1mL标准液为1点。

采用铁氰化钾溶液试验，是因为高锰酸钾滴定法是氧化还原滴定法，当磷化槽液中含有Fe^{2+}时，Fe^{2+}可与高锰酸钾反应而误认为NO_2^-存在，因NO_2^-和Fe_2^+不能共存，当加入铁氰化钾溶液试验有蓝色沉淀，说明有Fe_2^+没有 NO_2^-，需要加大催化剂的加入量直至铁氰化钾溶液试验没有蓝色沉淀为止。

发酵管法：取样于发酵管，加入2克氨基磺酸，上下翻转2次，测量发生的气体量（1mL气体相当于1点）。采用发酵管法测定的仍然是NO_2^-的浓度。

e）沉渣量 取1 000mL工作液，放置，待沉淀下沉后，倒掉上层清液，将下部沉渣液倒入100mL锥型量瓶，沉淀后测量沉渣mL数。

五、磷化膜的质量

1. 磷化膜的基本性质

1）物理机械性质：磷化处理后，金属的物理性质如硬度、磁性、弹性不变。

2）磷化膜具多孔性，因为磷化膜是由大小不一的结晶组成的，与晶体的细度有关。

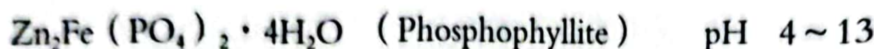
3）磷化膜的耐蚀性：磷化膜为不良导体，可抑制金属表面微电

CamScanner

池的形成，但是多孔，本身的耐蚀性有限。磷化膜耐有机溶剂，磷化膜容易被酸碱侵蚀。

4）耐碱性：


$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$（Hopeite） pH 5～11


$Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$（Phosphophyllite） pH 4～13

$$P比=\frac{Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O(P)}{Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O(H)+Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O(P)}\times 100\%$$

含Ca、Mn、Ni的 $Zn_2Me(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$具有含Fe磷化结晶相同性质，都统称为P。高P比的磷化膜耐酸碱性较好。

5）耐热性较差


$$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O \xrightarrow{115℃} Zn_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O \xrightarrow{275℃} Zn_3(PO_4)_2$$

温度100～130℃烘烤有利于提高磷化膜的耐蚀性。

6）耐蚀性。磷化膜组成成分中耐蚀性为$Zn_2Ca(PO_4)_2 \cdot 4H_2O>Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O>Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$

7）磷化膜结晶形态。现今磷化后越来越多地采用电泳涂装。在阴极电泳时，涂膜界面上pH值会达到11以上，而阳极电泳时界面上pH值会降低至2左右，从而引起磷化膜溶解（锌为两性金属，其盐是不溶性盐，但在强酸或强碱介质中会被溶解）而失重并混合于涂膜之中。这种磷化膜的溶解程度与磷化膜的结构、成分、结晶状态等因素有密切关系。实践证明，含铁比例高即P比高的磷化膜耐碱性、耐酸性较好，该磷化膜组成以$Zn_2Me(PO_4)_2$为主（Me代表Fe、Ni、Mn、Ca等），呈球状颗粒。以$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$为主要成分的磷化膜结晶一般为松枝状或细长晶状，耐碱性、耐酸性较差（图3-17、图3-18、图3-19、图3-20和图3-21）。

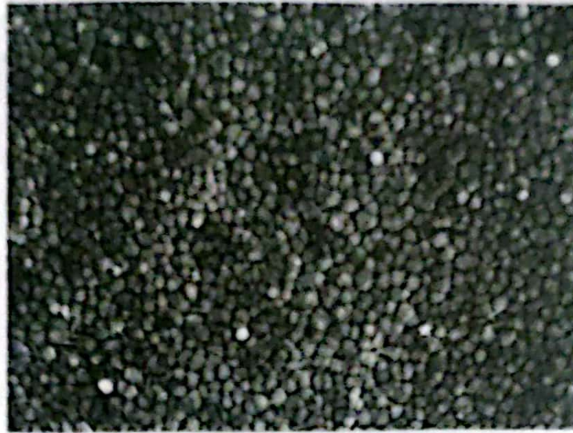
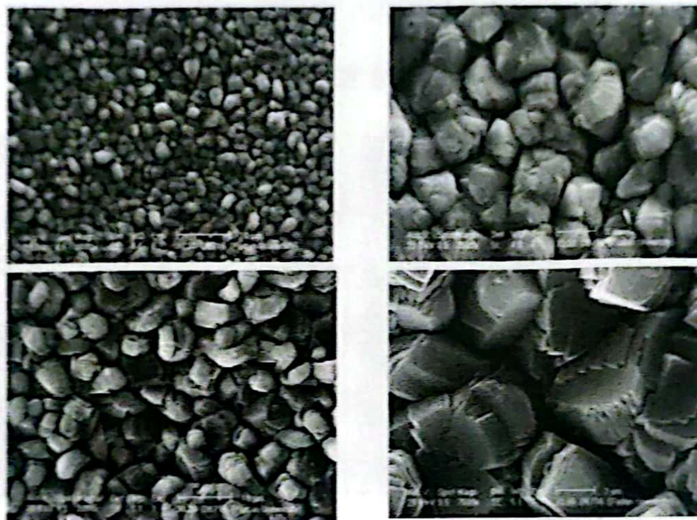


图3-17　高P比磷化膜结晶



2 000x　　7 500x

图3-18　典型的三元阳离子锌系磷化SEM



图3-19　低P比磷化膜结晶

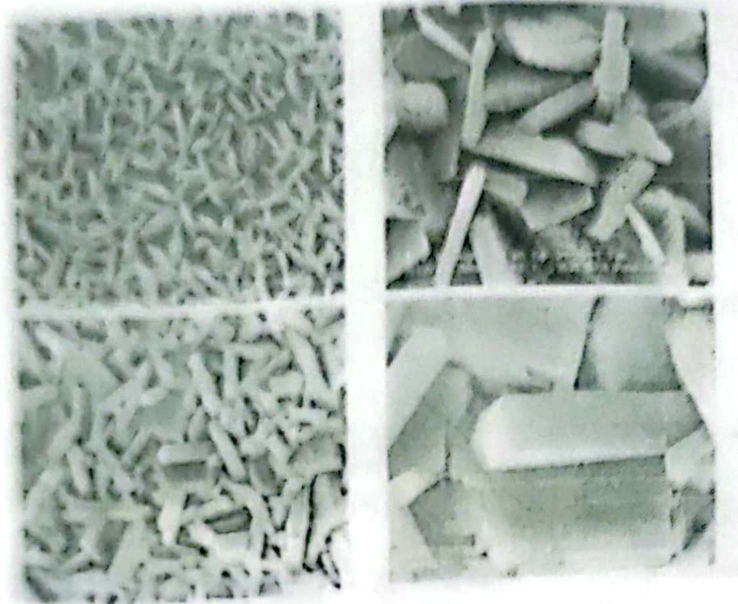
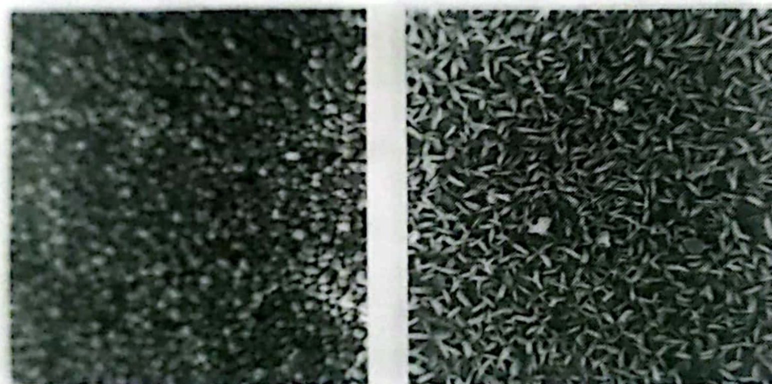


图3-20　不同放大倍数的纯锌系磷化结晶



CRS
普通钢板

EG
镀锌钢板

图3-21　不同基材上的低锌三元磷化膜结构

2. 磷化膜质量的检测

1）硫酸铜点滴试验（仅适用于不涂漆的防锈型磷化膜）。0.1MHCL配制的5%硫酸铜溶液，滴在磷化板上，记录变色的时间。原理是磷化膜不耐强酸，盐酸将磷化膜溶解后露出金属铁，铁与硫酸铜中的铜离子起置换反应生成铜，显示出铜的紫色。

2）磷化膜结晶（以2～7um粒状为好）；电子显微镜。

3）P比用X光衍射法测定（P比>80%为好）。

4）磷化膜质量（g/m^2）。涂装用磷化膜的厚度仅1～3微米，不能用厚度计来测量，以每平方米磷化膜的质量来衡量。磷化板称量，用5%铬酐溶液75℃浸泡10min，水洗烘干称重，以二者之差除磷化板面积，求得每平方米磷化膜重。

5）磷化膜与阴极电泳涂膜的配套性。磷化板电泳烘干后，经过50kg/cm的冲击试验，背面涂膜不呈放射性破裂为合格。磷化电泳烘干后的样板，划叉做盐雾试验，扩蚀2mm，试验时间应超过720h，二次附着力合格。

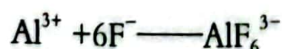
六、有色金属磷化处理

1. 铝材的磷化

铝合金由于比重小、导电导热好、力学性能优、易于加工成型等优点而在各行业得到了广泛的应用，通过不断改进的铝合金板材的机械性能已能保持汽车的强度和足够的碰撞安全性，铝合金板材代替冷轧钢和镀锌钢板作为车身材料，大大减轻车体重量，增加燃油的经济性。但由于合金铝板只是部分的代替车身钢板，因此在车身前处理方面仍然与普通钢板及镀锌钢板一道进行磷化处理，必须建立铝材表面形成合适的转化层的新的化学反应，同时也改变了传统的冷轧钢板和镀锌钢板上的化学作用。

1）氟离子对铝材磷化处理的作用。为保证铝材磷化处理的完整性，并使铁材磷化处理不受槽液中铝离子的影响，在磷化处理液中必须添加氟化物。氟离子以氢氟化物的形式加入，加速对铝合金件表面的氧化层的溶解作用，提高已钝化铝材可磷化能力。提供低温磷化的可能，防止铝离子造成磷化中毒，通过氟离子将铝离子络合成渣。

作用机理：



$Al^{3+}+6F^{-}$——AlF_6^{3-}

CamScanner

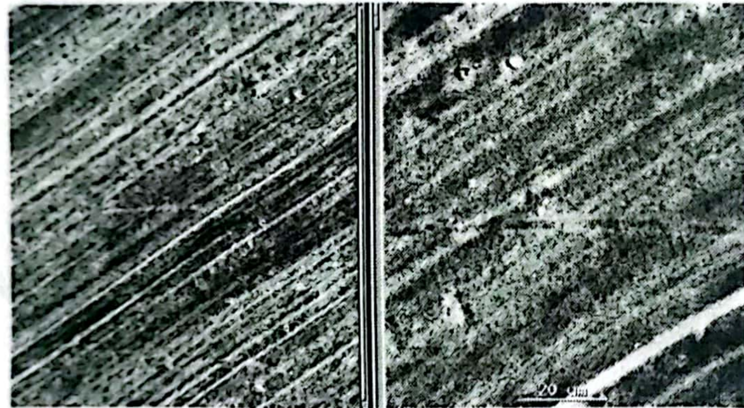


$AlF_6^{3-} + 3Na^+ \longrightarrow Na_3AlF_6$（沉渣）

在工艺过程中应采用离子选择电极来测量氟离子含量并控制氟离子含量。

2）氟离子对铝合金形成磷化膜的影响。通过试验，对适用于普通车身的磷化液中添加不同含量的氟离子，观察铝合金件表面形成磷化膜的形态。

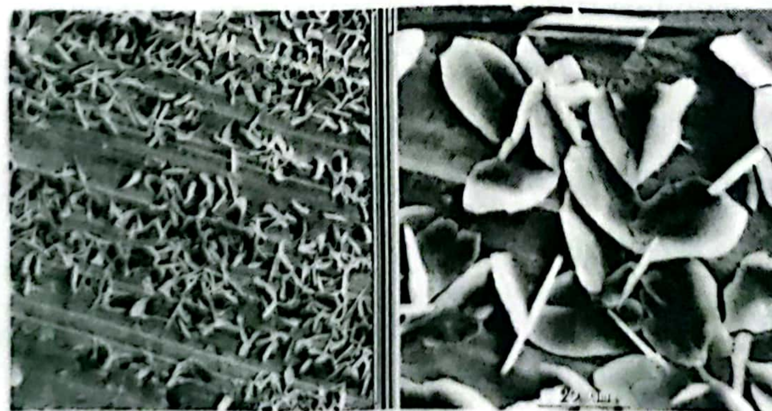
F^-：0～100ppm，铝件上不能形成磷化膜（图3-22）。



F^-：0～100ppm

图3-22　不同F^-含量铝件表面磷化膜结晶形态之一

F^-：230ppm时，铝件表面一层不完全磷化膜产生，磷化膜缓慢形成片状粗大的结晶组成（图3-23）。



F^-：230ppm

图3-23　不同F^-含量铝件表面磷化膜结晶形态之二

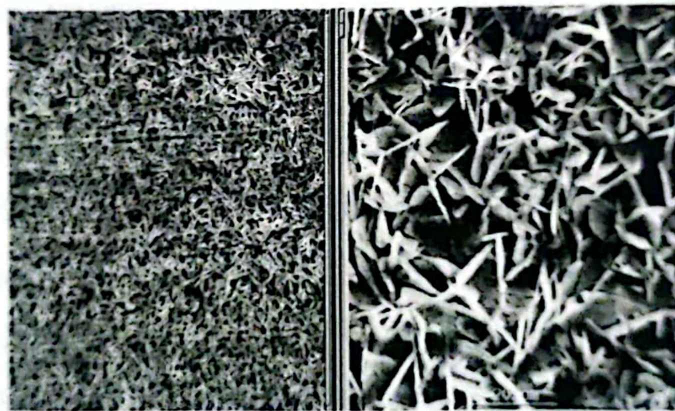
F^-：300ppm时，金属表面刻蚀程度增加，2min浸渍处理后，在铝件表面40%～50%表面被较小片状磷化膜覆盖，晶形和大小已合乎要求。

F^-：400ppm时，锌系磷化膜的结晶尺寸明显减少，磷化膜的覆盖度达到90%（图3-24）。

F^-：460ppm时，覆盖度达到100%，磷化膜由细小、均匀的结晶组成（图3-25）。

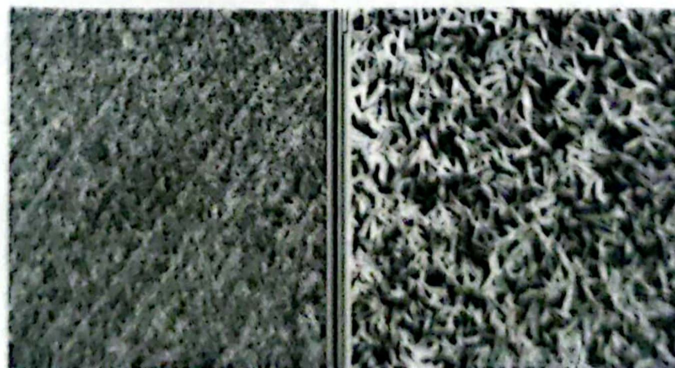
3）温度对铝材前处理的影响。当F^-控制在500ppm，槽液缓慢加热到指定温度，如23～24℃，铝材表面活性非常低，仅有少量小片状的结晶在表面形成，SEM显示在大部分试板上都没有磷酸锌形成。

当槽液温度升至32℃，铝材表面有了形状规整的磷化膜结晶，但表面覆盖度只有40%。



F^-：400ppm

图3-24 不同F^-含量铝件表面磷化膜结晶形态之三



F^-：460ppm

图3-25 不同F^-含量铝件表面磷化膜结晶形态之四

当温度38℃时，磷化结晶片状扩大，表面覆盖度达到70%～75%。在温度43℃时，磷酸锌覆盖度达到90%，此时有一种趋势：磷化膜结晶和槽液流动情况相关，在流动较少的区域生成小的发亮的带状膜，而其他处则是亚光的磷化膜。在槽液温度为49℃，这种趋势基本消失，代之以均匀的亚光的磷化膜。

4）铁离子对铝材磷化的影响。磷化槽液中铁离子浓度对铝材磷化有较大影响，Fe^{2+}增加，磷化膜覆盖度增加，Fe^{2+}增加，磷化膜结晶细化，Fe^{2+}增加，铝材刻蚀减少。

Fe^{2+}在槽液中几个ppm，磷化膜形成过程中从铝材表面刻蚀掉的铝约为1g/m²，如果Fe^{2+}超过10ppm时，则从铝材表面溶掉的铝减少到0.52 g/m²，磷化膜层变得更均匀，结晶变得更细致，达到要求的尺寸。

喷淋磷化有同样结果，不同铝材上有相似结果。

2. 铝材磷化总结

让汽车用铝材（型号6111，6022，6016）形成均匀细致的磷化膜，要在磷化槽液中至少保持450ppm以上的总的氟化物含量，氟离子含量可使用电极测量，自由氟化物的含量大约为200ppm。

49℃磷化温度是最适合汽车用铝材（6000系列）磷化，可以得到完整均匀的磷化膜，结晶细致，覆盖度高。

少量二价铁离子的加入改变了铝的磷化工艺，它的加入可以改善结晶形貌和磷化膜覆盖度。由于铁离子的加入，减少50%的铝材表面腐蚀量，而槽液中铝离子的减少，意味着磷化沉渣的减少。在铝材浸渍磷化处理时，沉渣量大约为3g/㎡。沉渣减少意味着在现有的磷化处理系统中，无需增加额外的设备。

铝的磷化实践经验：

1）可喷、浸使用。

2）喷淋工艺比浸渍工艺更易操作。

3）可处理铝的百分比为喷淋<80%，浸淋 <20%。

CamScanner

通过改进，浸渍中铝的处理量已达到了40%以上。

浸渍应用的前提：

1）槽液需高度搅拌循环。

2）优良的预冲洗表调 。

3）由磷化废物引起的槽液污染最小化。

4）用离子敏感电极来控制氟。

3. 铝铁混材磷化工艺

1）高效的磷化除渣系统： 铝材磷化的成渣量比其他的材料要大，渣粒度小呈悬浮状，所以在铝材磷化生产线上，其除渣系统中不宜采用沉降装置。

2）磷化槽液循环量<4次/h，同时也要保证有良好的层流效果。

3）磷化槽液中游离氟离子应有有效的控制。

七、磷化常见的缺陷与对策

表3-19列举了在磷化工艺过程中容易出现的质量问题及原因和解决办法。

表3-19　磷化工艺过程中容易出现的质量问题及原因和解决办法

缺陷	现象	原因	对策
蓝斑	磷化膜成紫色、蓝色或彩红色	1. 表调pH值偏低 2. 磷化：喷嘴堵塞或喷嘴方向不对，促进剂浓度偏高；游离酸度太低 3. 输送带速度太慢	1. 加入纯碱提高pH值 2. 调整喷嘴；搅拌、停止一段时间再使用，补加磷化液 3. 调整输送设备
磷化膜不完整	磷化膜不完整，明显可见工件基材	1. 表调液老化 2. 磷化：酸比（TA/FA）低 3. 脱脂到磷化的工序区间干燥	1. 提高浓度或更新 2. 补加磷化液，调整温控系统 3. 加加湿装置

CS CamScanner

续表

问题	现象	原因	对策
滴滴流痕	表面滴落的点滴状残流痕迹	1. 各工序滞流时间太长，表面水膜薄，顶端有水滴落 2. 磷化入口侧顶端有滴落水（酸性）；入口侧吊架有滴落水（强碱性）	1. 调整挂具 2. 调喷嘴
锈	红锈：发生于工件材料本身 黄锈：在预处理工程内发生	1. 工件生锈 2. 表调效果不足 3. 磷化：促进剂浓度低；游离酸高；总酸度低；喷嘴堵塞；温度低；搅拌不充分	1. 采取防锈措施 2. 更新表调液 3. 补加促进剂；加中和剂；加磷化液；清理喷嘴；使槽液充分对流
沉渣	沉渣在工件面附着	1. 磷化：磷化液中沉渣浓度过高；酸比高；循环管路堵塞；磷化后水洗压力低 2. 磷化到水洗的工序间干燥。	1. 清理沉渣；调整酸比；清洗循环管路；补加促进剂；调整喷嘴 2. 缩短磷化到水洗时间

八、磷化渣产生的影响因素

磷化渣产生的影响因素为：

1）配方　高锌磷化产渣量大约在4g/m²以上；低锌磷化约为3g/m²左右。柠檬酸和酒石酸及其他络合剂可络合三价铁，减少磷酸铁的沉渣量，但是要考虑废水的处理问题。

2）NO_3/NO_4的比例　提高比例可以降低渣量，当NO_3^-的含量在槽液中≥3%，自身就可以起到催化剂的作用并使渣量减少。

3）促进剂的加入量　$NaNO_2$促进剂加入量越大，产渣量越大，10%$NaNO_2$溶液pH=7.48，磷化液的pH=3～4，因此促进剂具有

强中和作用，故应控制在1.5～3点。

加入方式为泵滴加入方式，与磷化液滴加入口间距1m以上。

4）磷化施工方式　喷淋——少量磷酸亚铁进入磷化膜，大量溶解的铁被氧化成磷酸铁沉淀。浸渍——磷化膜中磷酸锌铁含量高，高p比，生成残渣量少。

5）温度　温度越高，渣量越大。

九、钝 化

钝化是一个可选择的工序。以往的钝化剂都是采用六价铬化合物，一般认为钝化工序的机理是：对未磷化上的钢板表面上的孔穴上生成铬酸盐膜，同时也将黏附在磷化膜上的磷化残渣清洗掉（图3-26）。欧美的涂装前处理工艺，认为钝化是必要的，可提高涂膜耐腐蚀性30%，对镀锌钢板的抗石击性能有很大的提高。

日本、韩国认为采用高P比磷化膜，钝化仅能提高涂层防腐性能10%。以往的实验证明，钝化对低P比的锌系磷化的确有效，能有效地提高阴极电泳涂膜的机械性能。

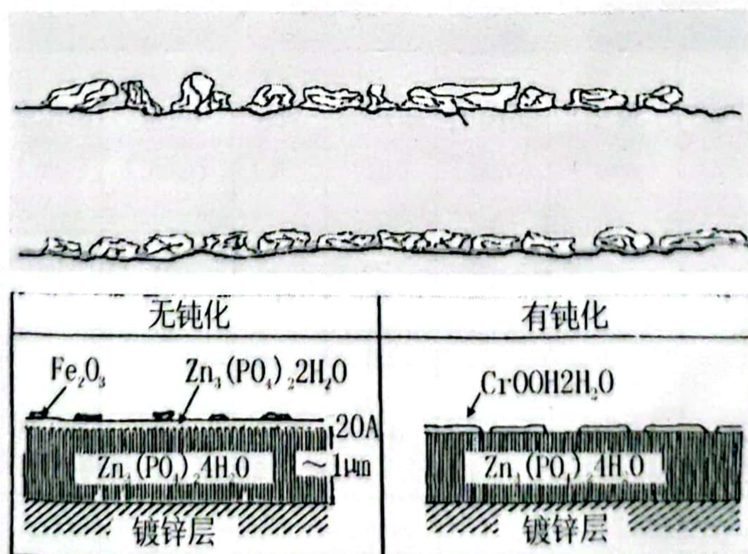


图3-26　磷化后钝化的作用

CamScanner

铬系钝化存在的问题：

1）六价铬有剧毒，可致癌，废水中允许排放量为0.05mg/L。

2）增加了将六价铬转化为三价铬的成本。

3）新建厂得到政府批准方面有困难。

目前欧美汽车厂已采用无铬钝化产品，无铬钝化产品是在氟化锆的基础上研制成功的，在单边盐雾腐蚀及附着力方面与含铬产品质量相当。

十、磷化膜与阴极电泳涂膜的配套性

1. 磷化膜与阴极电泳涂膜的配套性试验

试验证明，高P比的磷化膜与阴极电泳涂膜有良好的配套性能。在表3-20显示了磷化膜对随后的电泳工艺过程中的变化，高P比的磷化膜电泳后磷化膜溶解量少。表3-21是中国一汽工艺研究所的试验验证，高P比的磷化膜与阴极电泳膜的配套性能良好。

表3-20 磷化膜对随后工艺过程中的变化

特性	电泳之前的磷化膜				电泳以后的磷化膜			
磷化液代号	P比（%）	膜重（g/m^2）	晶粒度（um）	结合力（gf）	P比（%）	膜重（g/m^2）	晶粒度（um）	结合力（gf）
1#	89.1	1.70	2～8	700	90.7	1.64	3～5	600
2#	71.1	2.74	20～25	640	72.2	1.86	40～50	470
3#	87.5	3.32	4～7	705	88.2	3.10	3～5	680

CamScanner

2. 烘干对磷化膜性能的影响（图3-22，按电泳漆烘干规范170℃×30min）

表3-21　磷化膜与阴极电泳膜的配套性能

磷化液代号	P比（%）	漆膜厚度（um）	漆膜结合力（gf）	冲击（kg·cm）	锥形弯曲（mm）	杯突（mm）	连续盐雾试验单侧扩蚀
1#	89.1	22～23	1310	50A	4	9.6	720hr0.9mm
2#	71.1	22～23	1077	50B	4.5	7.3	600hr 2mm
3#	87.5	22～23	1360	50B	4	9.9	720hr0.8mm

表3-22　烘干对磷化膜性能的影响

磷化液代号	室温放置48h后			经170℃×30min烘干后		
	膜重（g/m^2）	晶粒度（um）	结合力（gf）	膜重（g/m^2）	晶粒度（um）	结合力（gf）
2#	2.74	20～25	640	1.88	13～18	760
3#	3.32	4～7	705	1.55	3～5	760

结论：

1）在阴极电泳过程中，阴极工件表面上存在强碱性界面层，对磷化膜有一定的溶解作用。

2）采用低锌磷化体系，无论冷轧钢板或镀锌钢板，在阴极电泳过程中，受溶解的破坏程度较小。

3）磷化膜与阴极电泳涂料之间存在配套性问题，P比高、结晶致密的磷化体系与阴极电泳涂料有较好配套性，涂层的机械性能、耐腐蚀性能较好。磷化膜与阴极电泳涂膜如不配套，其机械性能如漆膜附着力、耐冲击力等还不如脱脂无磷化处理的钢板。

十一、磷化工艺及设备

产品涂装是商品生产的主要环节之一，它直接影响商品外观的装饰和耐用性。涂装工艺、油漆材料、涂装设备、生产管理及工人的操作水平是涂装工程的几大要素，一般说来，涂装工艺、油漆材

CamScanner

料方面比较容易控制，而生产管理及工人的操作水平较难达到理想水平，也就是说人为的因素对涂层质量的影响所占的比重很大，而使用较为先进的涂装设备及工具，进行自动或半自动化生产，是减少人为因素对涂层质量性影响的最重要的手段之一。因此，涂装生产厂家对涂装设备十分重视，不惜花费巨大投资，从涂装线设计开始，尽可能使工艺设备设计比较完善，选型合理，涂装过程控制简单易行，从而消除人为因素的影响。

一般生产批量小，工件比较大的场合，当涂装零件装挂后数量少于4万/年的话，多采用间歇式的方式，采用人工电葫芦、自行葫芦，其决定因素由工艺时间所确定，即挂件从上一道工序移动至下一道工序、升降及工艺时间（磷化、电泳以3min计）在5min内完成。如果工件适宜于装挂且大小比较均匀产量较大，可采用连续式运输，主要有普通悬链、推杆链、摆杆链、全旋反向浸渍输送机、多功能穿梭机等。

以汽车生产为例，图3-27为不同产量及工艺的涂装前表面预处理设备示意图。

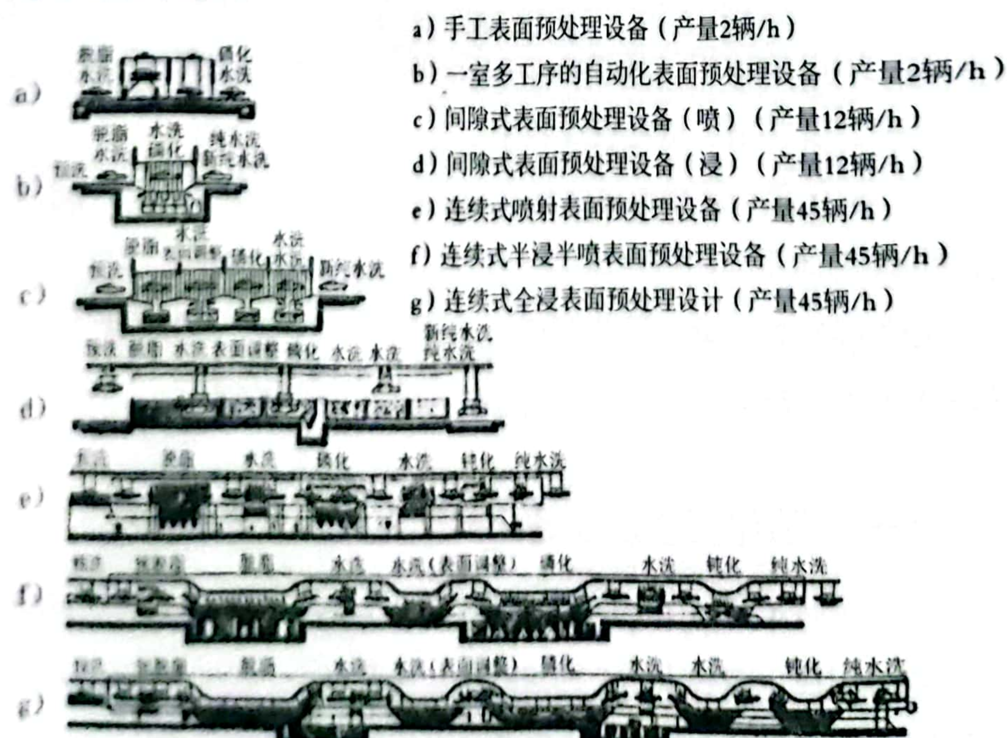


图3-27 不同产量及工艺的涂装前表面预处理设备示意

1. 典型的涂装前处理工艺

以要求最高的轿车车身涂装前处理为例，如下表3-25：

表3-25 典型的轿车涂装前处理工艺

序号	工艺名称	处理方式	工艺参数		备注
			温度（℃）	时间（min）	
0	进入涂装车间的白件检查应无锈，表面质量合格	目视	RT		
1	预清理，擦洗去不易洗掉的污物	手工或高压水洗			
2	进入涂装前处理设备				
2.0	预清洗（热水洗）	喷	60±5	1	
2.1	预脱脂	喷	60±5	1	
2.2	脱脂	浸	60±5	3	
2.3	水洗	喷	RT	0.5~1	
2.4	水洗	浸	RT	浸没即出	
2.5	表调	浸	≤40	0.5	
2.6	磷化处理	浸	根据用材定	3	
2.7	水洗	喷	RT	0.5	
2.8	水洗	浸	RT	浸没即出	
2.9	钝化	浸	RT	浸没即出	
2.10	循环去离子水洗	浸	RT	浸没即出	
2.11	新鲜去离子水洗	喷	RT	1	

注：其他产品的前处理工艺在上述的工艺工序上略有减少。

2. 前处理设备

前处理的处理方式有3种：喷淋式、浸式、浸喷结合式。采用何种方式，取决于工件的形状、品种、生产能力等因素。如工件形状简单，对涂层质量要求又不高，则可采用全喷淋式。如工件形状复

杂，要求也不太高，即可采用步进式输送全浸式。如工件形状复杂（汽车车身），涂层要求很高，应采用浸喷结合式。

（1）喷淋室

a）喷淋室（图3-28和图3-29）的重点是解决密封和防污染问题。采用"C"型钩和采用液封或气封的方式防止气体外溢并腐蚀运输链。设置接油、接液盘防止运输链滴液污染被涂工件表面。

b）沥水间要求防窜液，沥水间长度大于被处理件的长度，否则处理液会顺着工件的长度方向从前一个槽顺流到下一个槽。工件在沥水段的停留间隔时间不大于2min，否则由于工件表面干燥而清洗不净或生锈，此时应加喷湿装置使工件表面保持湿润。

c）处理液槽容积相当于喷淋泵5～8min流量的容量。

d）喷淋泵选择根据流量、压力及处理液pH值来考虑。

e）根据工序和工件的装挂方式选择喷嘴及喷管分布，为防堵塞在喷管最低点有排液孔。当设备停止工作时喷管中的残液将流尽以免残渣沉积堵塞管道。

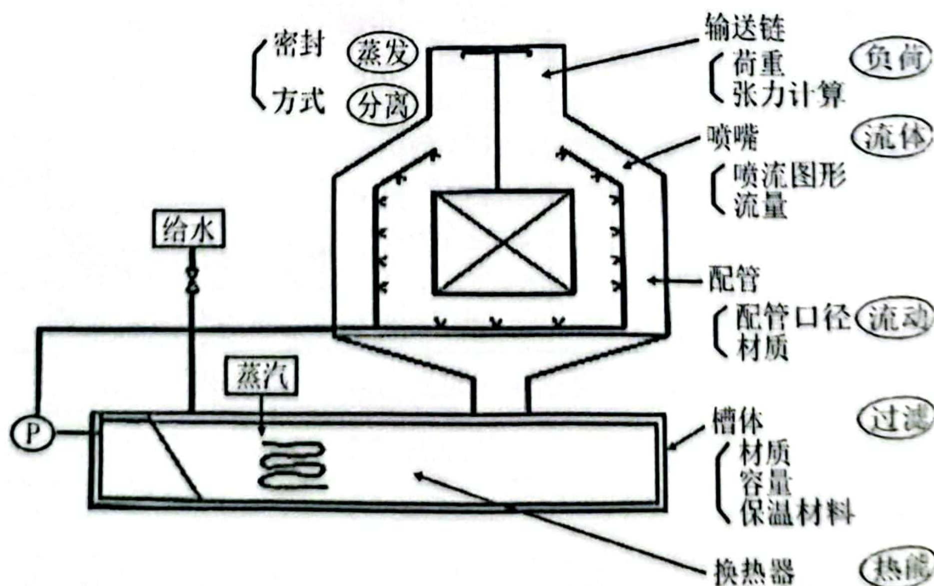


图3-28 喷淋区应考虑项目及断面

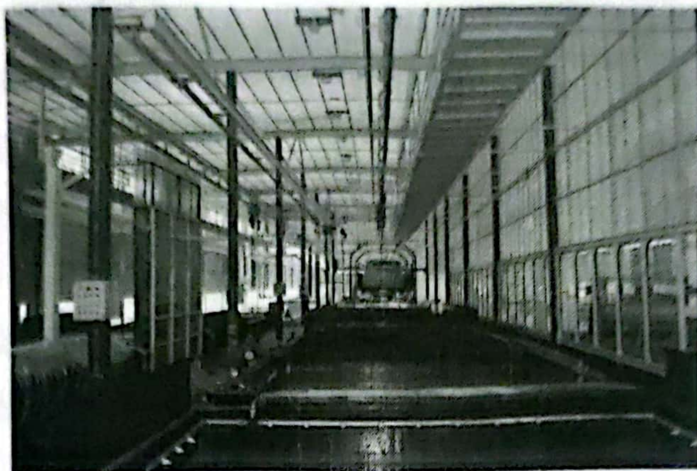


图3-29　前处理生产线

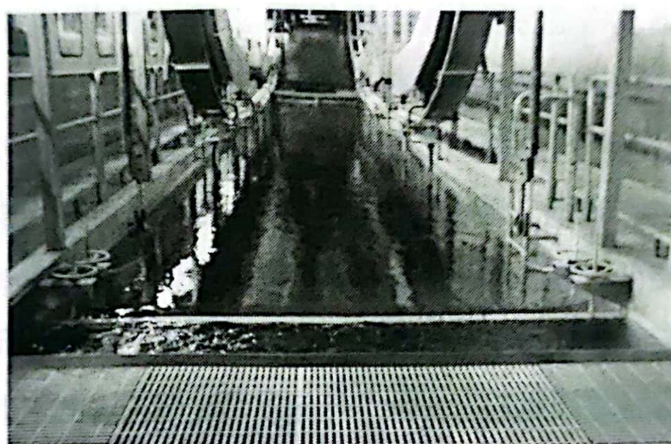


图3-30　磷化浸渍线槽体

（2）浸渍槽体（图3-30）

a）槽底部应向一端倾斜，斜度为1：30。

b）供磷化的浸槽在低端应有锥形斗以集渣。

c）浸槽的大小取决于被处理物的大小及运输设备。

d）槽液循环量一般为2次/hr，有沉渣的喷射流向低端处。

e）加热可以内加热或外加热，脱脂液可采用蒸汽或高温热水，磷化液必须采用热水加热。

浸式用矩形槽：这种槽体用于步进式或连续式采用全旋反向式输送机、多功能穿梭机及自行葫芦。槽体的长度除工件长度外，

槽体两端一般应留300～400mm的空间，如工件前后需要摆动，则两端需留600mm左右。槽体的宽度除工件宽度外，工件距槽壁应为300～500mm。槽体的高度，除工件自身外，工件上部距槽沿400mm。吊具或滑橇，底部距槽底300～400mm。当槽底有加热器或者搅拌喷嘴时，还要考虑其尺寸。

浸式用船形槽：这种槽体用于连续式。船形槽两端的斜坡如采用普通悬挂链或积放悬挂链其斜度为30°，如采用摆杆输送机则斜度为45°。船形槽底部的长度应为：链速（m／min）×工艺时间（min）＋工件的长度（积放悬挂链要考虑吊具或滑橇的长度）。工件距槽壁及槽底的尺寸与矩形槽相同。

（3）磷化除渣装置

在锌盐磷化成膜过程中不可避免的会产生磷化沉渣，高锌磷化产渣量在4g/㎡以上；低锌磷化为3g/㎡左右，采用有机催化剂磷化产渣量会更低一些。磷化渣在槽液中含量过高，易造成喷管和喷嘴堵塞，附着在加热器上使其功能下降，附着在工件上会影响磷化膜的性能和形成漆膜颗粒。如果与电泳配套生产，磷化沉渣带入电泳槽，不仅会破坏电泳槽液稳定，影响超滤装置的使用寿命，而且会产生颗粒影响电泳漆膜的质量。因此要求磷化槽液中磷化渣含量不应超过0.5%（v/v）。

常用的磷化除渣装置有如下几种：

a）高位沉降塔。沉降塔呈锥底圆筒形，含渣槽液从切线方向进入筒内，靠旋转产生的离心力，加速磷化渣的下沉，清液随旋转上升，而回主槽。这种方法很简单，但必须下班后工作，不适用于大批量生产（图3-31）。

CamScanner

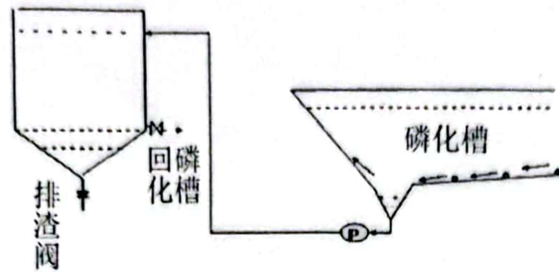
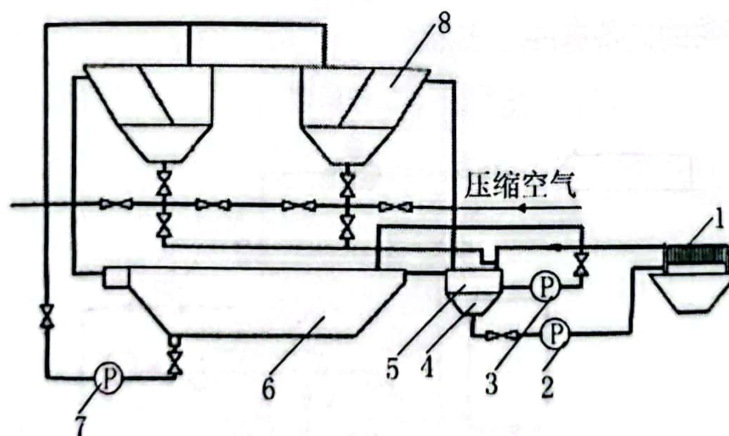


图3-31 高位沉降法示意

b）斜板沉降法。由斜板沉淀槽、浓缩槽及板框压滤机组成。这种方法目前应用的比较广泛。含渣的磷化液通过泵的较低速度引入槽内。使其靠重力沉降，上移的渣粒被斜板挡回槽底，上部的清液流回磷化槽。在底部的浓缩液定期排放到浓缩槽，再通过泥浆泵打入板框压滤机，压成渣饼而排掉。斜板沉淀磷化除渣装置见图3-32及图3-33。



1. 板框压滤机；2，3，7. 泵；4. 旋液分离器；

5. 浓渣液槽；6. 磷化槽；8. 斜板沉降器

图3-32 斜板沉降法

CamScanner

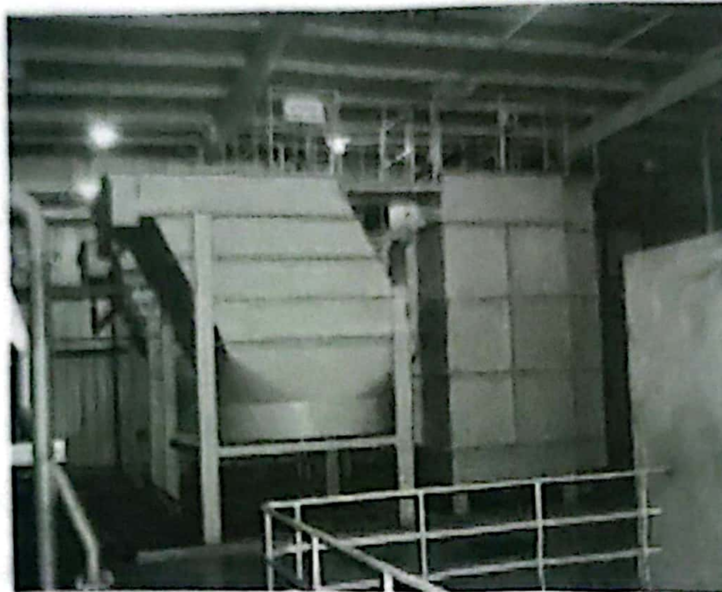
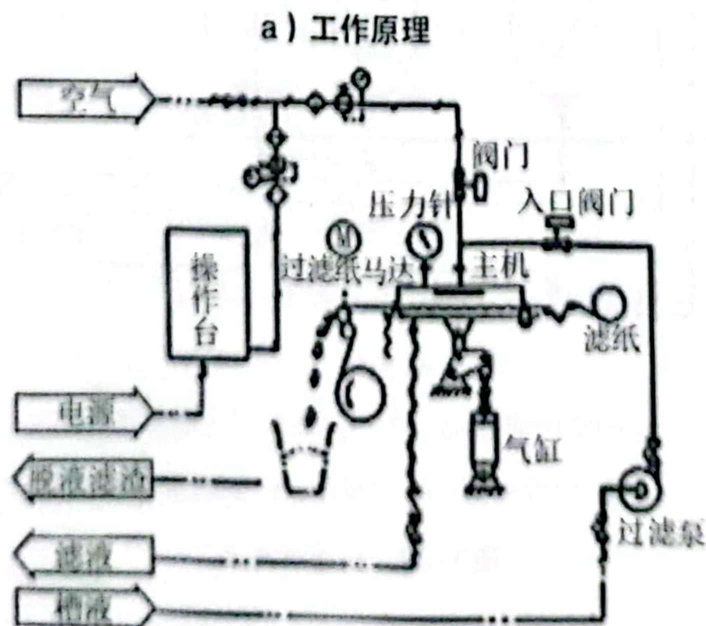


图3-33　斜板沉降法实物

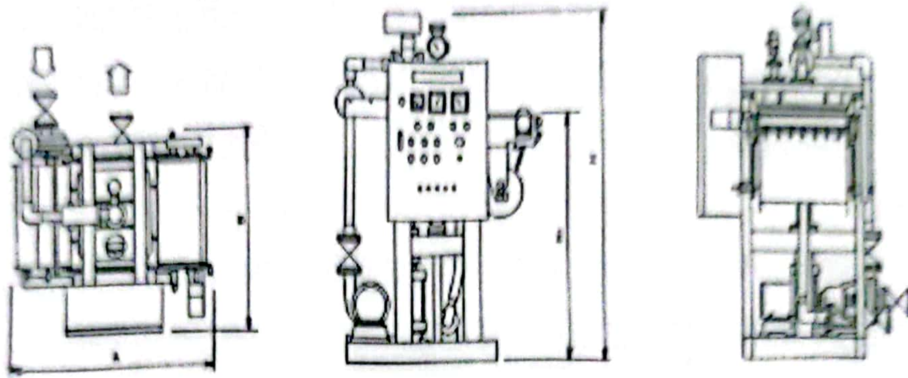
斜板沉降法产生的磷化渣含水量很高，一般与板框压滤机共同使用。

c）滤布带（纸带）式过滤机。滤布带式过滤机有重复使用的布带式和不重复使用的纸带式两种。图3-34为不重复使用的纸带式过滤机。成熟的设备有FK过滤机。

a）工作原理



b）组装图



b）标准规格

型号＼项目	过滤面积m²	过滤能力m³/H	出入口口径mm	无纺布宽mm	重量kg	尺寸mm			
						H	H_1	A	B
FK2L	0.2	约2	40	500	630	2050	1250	1400	1100
FK4L	0.4	约4	50	650	750	2150	1440	1550	1210

图3-34 滤布带式过滤机



图3-35 FK过滤机实物

图3-34是FK过滤机的工作原理，将斜板沉淀器或PS过滤器中的泥浆，通过泵输入至FK过滤机内，在滤纸上过滤，沉淀达到一定的厚度（50mm），自动停止供液。然后，气缸通过压缩空气作用使滤渣脱液成块，带渣的滤纸输出。图3-35是FK过滤机的实物。

d）PS过滤器。PS过滤器（图3-36）是通过泵将带渣的磷化液泵入过滤器，磷化渣通过泵压力附着在滤网上，当压力差达到一定值时应关闭过滤器，然后用压缩空气反吹，将过滤网上的磷化残渣吹下清洗排渣。该设备的优点是可自动化，不用开启过滤器更换过滤袋。

磷化工作液是通过上述各种除渣装置除掉磷化过程中产生的磷化残渣，才使得磷化槽液能长期使用。

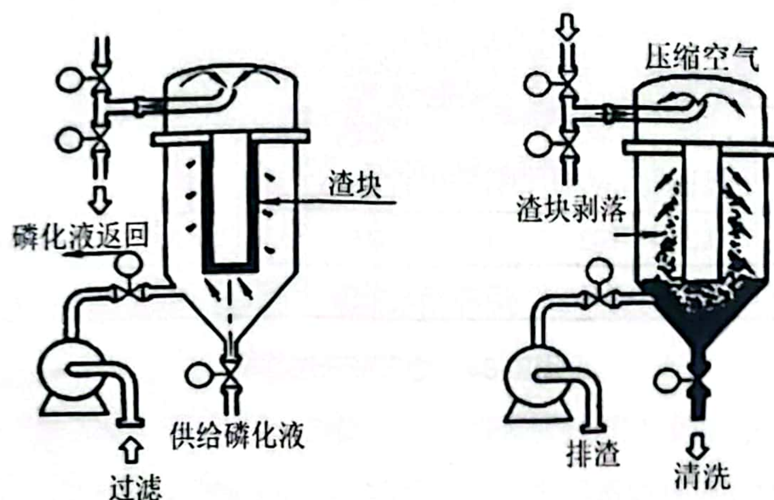


图3-36　PS过滤器工作示意

第四节　前处理技术的发展

由于环保和节能降耗的要求，前处理技术在各方面都得到了发展，分别叙述如下：

一、现有脱脂磷化改进

1. 脱脂

1）采用非离子型、低泡、高清洗能力可生物降解表面活性剂

（不使用含APEO烷基酚-乙氧基化合物）。

2）不含硅酸盐，对镀锌板无腐蚀性。

3）无磷脱脂剂，降低封闭水域富养化。

4）液体脱脂剂。

5）设备改进，如超滤、袋式过滤器加磁棒。

2. 表调剂

液体表调，有更高稳定性，含Ti浓度较低，有利于铝材成膜及槽液寿命。

3. 新型磷化技术

1）复合金属的磷化，镀锌钢板、镁、铝等。

2）常温、低温磷化：温度由50℃降为40℃，可以节能26%。而且能减少磷化过程中的沉渣。

3）无亚硝酸钠的磷化。

4）无镍磷化：镍可有效提高二次附着力。我国镍的排放标准为1mg/L，德国不超过0.5ppm。

5）预涂钢板磷化。

6）综合处理，减少工艺步骤。

4. 无铬钝化

Cr^{6+}的允许排放量0.05mg/L，六氟化锆为主要成分的钝化液。

二、无镍磷化工艺

镍可有效提高二次附着力，在三元磷化工作液中镍含量高达几百ppm。按照我国镍的排放标准为1mg/L，德国不超过0.5ppm。在排放的废水中镍含量均超标，需要用镍处理设备进行处理。国外已经有采用无镍的磷化材料进行涂装前处理（表3-24、表3-25和表3-26）。

CS CamScanner

表3-24　无镍磷化工艺

磷化时间	200s
镍的替代物	（5±2）ppm A
促进剂	0.9～2.0g/L
锌含量	（1.9±0.1）g/L
温度	53℃
总酸	26
游离酸	2.5～3.5
Fe^{2+}浓度	<70ppm
游离氟	150～200ppm
冷轧板上的晶体尺寸	4～10μm
结合阴极电泳的表现	近似于锌镍锰磷化工艺

表3-25　无镍磷化工艺的过程

工序	体积（m^3）	温度（℃）	时间(S)	产品
刷/喷	6	常温	15	Gar doc l ean Va52/1M
预脱脂	36	50	40	Gar doc l ean VP 10145
脱脂	130	70	300	Gar doc l ean VP 10145
水洗	24		40	
水洗	24		40	
预冲洗表调	24		40	Gar do l ene ZL5（液体）
磷化	95	53	200	Gar dobond 2360（无镍）
水洗	24		40	
水洗	24		40	
后处理			40	Gar do l ene 6800（无铬）
去离子水洗	24		40	
去离子水洗	24		40	

表3-26　无镍工艺的膜重和组成

		钢	电镀锌钢板	铝
膜重（g/m^2）		3.0	2.5	3.5
组成（%）	Zn	31	45	44
	Mn	2.2	5	9
	A	0.4	0.8	0.7
	Fe	6.5	—	—
	Ni	<0.05	<0.05	<0.05
		41	40	42
磷叶石		95	—	—

三、氧化锆处理技术（又称纳米陶瓷锆盐技术）

新一代环保型涂装前处理工艺（非磷酸盐或称无磷前处理工艺，包括氧化锆处理、硅烷处理及氧化锆硅烷复合处理技术），能彻底不用P、Mn、Ni、NO_2等有害物质，膜薄（纳米级），少渣或无渣，资源利用率高，可在室温下处理，且处理快速，工艺简化（不需表调和钝化），适应多种底材（如冷轧钢板、镀锌钢板、铝材、铜合金等）共线处理的特点。经近10年来在家电、汽车零部件、轻工等涂装线上应用，不断试验改进，新型前处理技术已从实验室阶段逐步走向成熟并在汽车车身涂装线上获得应用。

ZrO_2应用在汽车前处理行业始于2005年，一篇发表在国际汽车涂装研讨会（SURCAR）上的文章详细介绍了新型氧化锆转化膜的发展目标以及每个目标阶段所要解决的问题。它提出了研究的2个主要目标：①有助于改善环境；②降低成本。

目前三大洲三家汽车公司的前处理生产线成功运用汉高公司氧化锆转化膜技术进行了生产应用，并且取得了很好的效果。2007年，本田公司介绍了非结晶质的氧化锆转化膜，该转化膜取消了表调，沉渣减少90%。新开发的氧化锆转化膜，不含法规限制的重金属和磷酸盐。适用于多种金属的前处理。氧化锆处理剂是用于代替

磷化处理的一种涂装前新型表面处理剂，在金属表面上生成一层氧化锆转化膜。该转化膜与涂膜结合的质量介于磷化膜与硅烷处理膜之间。氧化锆处理剂主要由锆的化合物如六氟化锆、硝酸锆等与氧化物组成。

（1）氧化锆处理与磷化处理比较的优点

a）无需加热，节省能源。

b）反应时间短。

c）省去表面调整步骤，节省成本。

d）对钢铁件处理时无沉渣，省去除渣步骤。

e）不含磷和重金属元素，符合环保要求。

f）日常管理方便，易于操作。

（2）氧化锆转化膜的技术参数和工艺特点（表3-27）

表3-27　氧化锆转化膜的技术参数和工艺特点

项目	参数	项目	参数
槽液pH值	3.8～4.8	与电泳漆相容性	相容
处理时间（s）	30～180	控制参数	温度与pH
处理温度（℃）	10～50	膜重（mg/m^2）	20～200
处理方式	喷淋或浸渍	可处理板材	冷轧板、镀锌板、铝板

2007年以来，氧化锆转化膜技术在通用、沃尔沃、大众等三家汽车公司分别进行了附着力和耐腐蚀性能的检测，结果基本达到了各家公司的测试指标。新型氧化锆转化膜技术在汽车前处理上的应用，还需做以下方面的工作。

a）与电泳供应商合作，优化阴极电泳的相关工艺参数，如电泳漆泳透率、泳涂电压、电泳温度和溶剂含量以及锐边保护性等。

b）重新设计汽车前处理体系，包括工艺和检测标准，以便使新型转化膜通过OEM认可，使新型转化膜的优越性能充分发挥出来。

CamScanner

c）对氧化锆转化膜技术持续进行改进，以使该项技术得到更成熟的发展。

（3）传统的磷化前处理系统与氧化锆处理技术的比较（图3-37）。

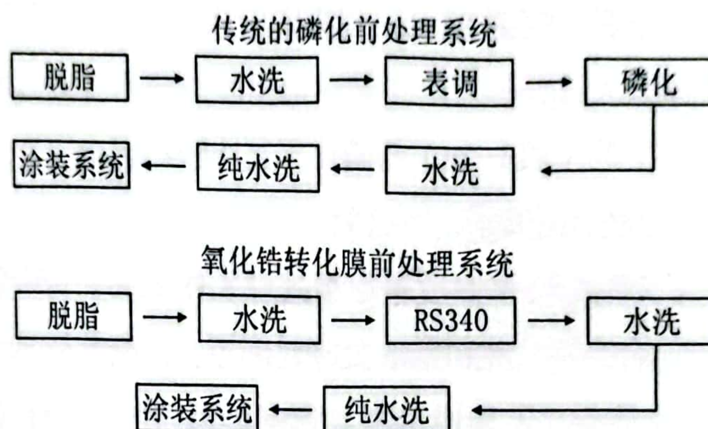


图3-37　传统的磷化前处理与氧化锆处理工序过程比较

四、硅烷化处理技术

硅烷化处理是以有机硅烷为主要原料对金属或非金属材料进行表面处理的过程（图3-38）。

硅烷应用于金属基材的涂装前处理是一个新兴的领域。硅烷处

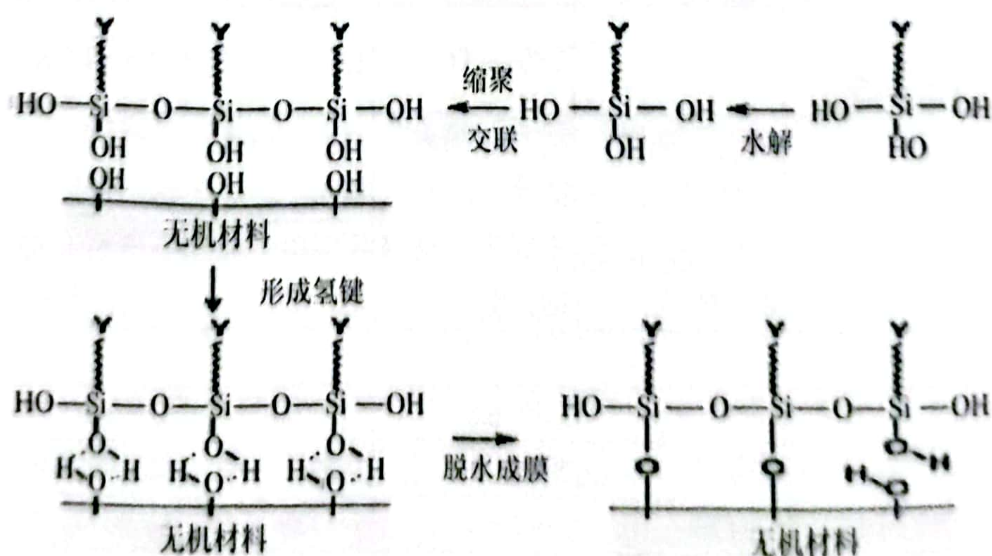


图3-38　硅烷化处理成膜机理

理剂的主要成分是水解后有机硅烷偶联剂，其中的活性硅羟基可以和金属基体结合，水解形成的硅醇化学吸附在金属表面，经脱水干燥后形成Si-O-M共价键（M为金属），主要机理如图3-38所示。

水解后的硅烷偶联剂中的有机官能团（如羟基/环氧基等）能与各种有机涂料起反应性的结合，提高漆膜附着性能，从而提高其耐腐蚀性。

硅烷处理工艺（表3-28）与磷化工艺比较：

1）无有害重金属离子，不含磷，无需加温。

2）硅烷水解成Si-OH覆盖在被处理工件表面，与金属表面以Si-O-Me键结合。不产生沉渣，处理时间短，控制简便。

3）处理步骤少，无表调工序，槽液可重复使用。有效提高油漆对基材的附着力。

4）可共线处理钢板、镀锌板、铝板等多种基材。

5）硅烷处理后必须烘干。

6）硅烷处理的质量尚达不到磷化处理技术，在汽车整车涂装线上很少采用，主要用于零部件及电气产品等。

表3-28　典型的硅烷处理工艺

	工艺1	工艺2	工艺3	工艺4
硅烷处理剂（使用浓度）	5.0%	2.0%～3.0%	1.0%～2.0%	0.5%～1.5%
处理方式	浸泡，喷淋，滚涂	浸泡，喷淋，滚涂	浸泡，喷淋，滚涂	浸泡，喷淋，滚涂
槽体材料	不锈钢，玻璃钢，塑料	不锈钢，玻璃钢，塑料	不锈钢，玻璃钢，塑料	不锈钢，玻璃钢，塑料
控制参数				
pH值	5.0～6.8	5.5～6.8	5.5～6.8	5.5～6.8
温度	常温	常温	常温	常温
处理时间（s）	5～120	5～120	5～120	5～60
适用材料	钢铁件	镀锌件、铝件	不锈钢件	磷化后钝化

CamScanner

五、氧化锆硅烷复合膜（下称硅烷复合膜）技术的应用工艺

氧化锆硅烷复合膜处理技术是一种新型的涂装前处理技术，硅烷复合膜技术实际是氧化锆处理技术与硅烷处理技术相结合的表面处理技术。该复合膜技术是借鉴并复合了硅烷技术和氧化锆处理技术的优点而形成的。

氧化锆硅烷复合膜处理技术在一定程度上消除了氧化锆处理技术体系中因处理而不断累积的氟离子（极易造成钢铁等基体锈蚀，诱发漆膜附着力下降），氧化锆处理技术和硅烷在金属表面协同处理可得到的无定形的复合膜层（一般膜厚为20~200nm），其漆膜附着力与耐腐蚀性能等理化指标亦可得到较大程度的改善。氧化锆硅烷复合处理是目前技术发展较成熟的可取代磷化的前处理技术。氧化锆硅烷复合处理与传统磷化相比具有以下多个优点：无镍、锌、锰等有害重金属离子，不含磷，无需加温。硅烷复合处理过程无渣，处理时间短，控制简便。处理步骤少，可省去表调及钝化工序，槽液使用寿命长，维护简单。有效提高油漆对基材的附着力，可共线处理钢板、镀锌板、铝板等多种基材。硅烷复合处理技术的成功应用给磷化技术带来革命性的变革。

硅烷复合处理工艺处理后的漆膜附着力和耐腐蚀性能与锌系磷化膜性能相当，作为替代传统磷化工艺的新技术，它满足了节能减排的环保型涂装处理和生产技术不断发展的需要。

1. 与传统的磷化处理技术比较具有的优点

1）硅烷复合膜（图3-39）技术形成的超薄有机膜可以替代传统的磷化膜，磷化膜的重量通常为2~3g/㎡，硅烷复合膜重仅仅0.1 g/㎡，相差20倍左右。单耗大大降低。

2）Si-O-Me 共价键分子间的结合力很强，所以产品很稳定，

CS CamScanner

从而可以提高产品的防腐蚀能力。

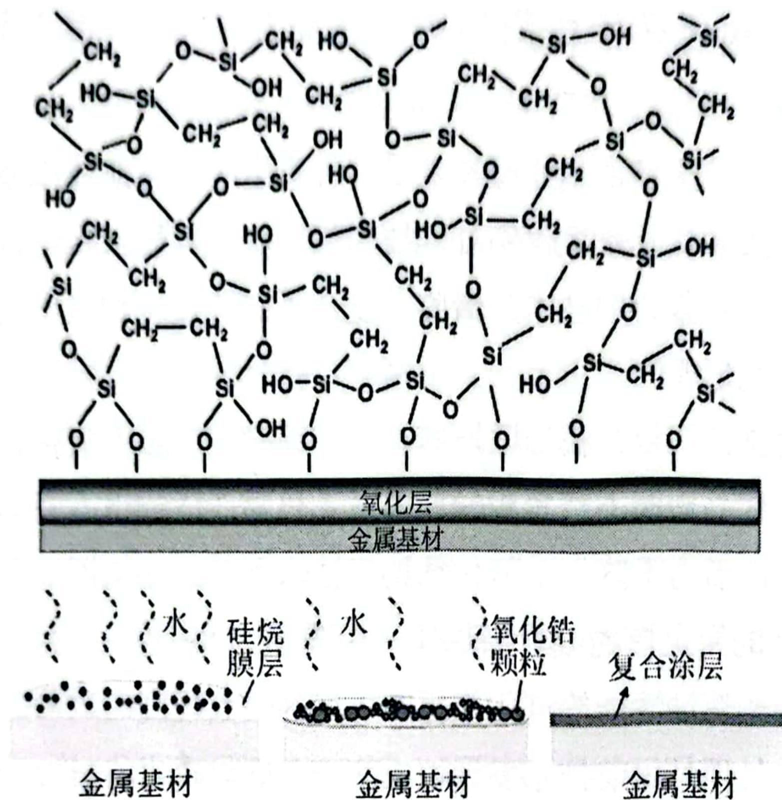


图3-39 硅烷复合膜

2. 硅烷复合膜技术的优点（图3-40）

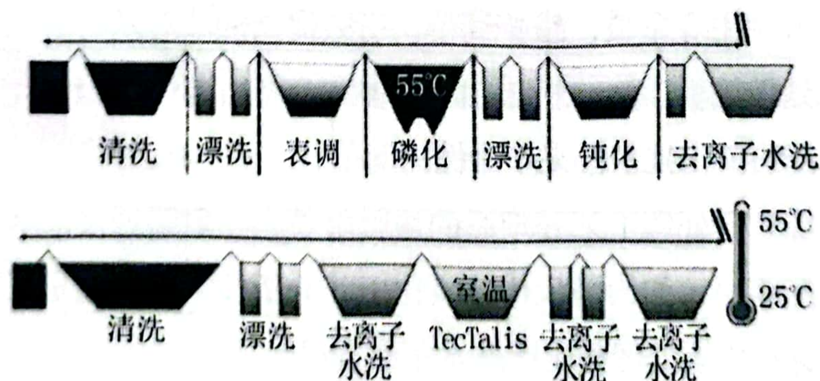


图3-40 三元低锌磷化工艺与硅烷复合处理工艺的对比

1）使用方便，便于控制。槽液为双组份液体配成，仅需要控制pH值和电导率，无须像磷化液那样，要控制游离酸、总酸、促进剂、锌、镍、锰的含量和温度等许多参数。

2）节约能源。可室温或低温操作，能源费用降低。

3）节省电能。由于泵的减少和功率的降低，可节省40%的电能。

4）处理时间短。只有磷化处理用时的一半，因此可以提高产量。

5）优异的环保性能。无有害的重金属，无渣，废水排放少，处理容易，如果安装过滤器及离子交换器，可以做到封闭循环使用。

6）多金属处理工艺：冷轧板、热镀锌板、电镀锌板、铝等不同板材可混线处理。

7）工艺简单，流程短。可以减少维修量，不需要维护表调、钝化和除渣设备，也不需要定期处理槽及管路和喷嘴等。

8）综合成本低，产品消耗量低，三废处理成本低。欧洲Proposal工厂生产线使用磷化液时每年的费用为73万欧元，切换Oxsilan的产品后为39万欧元/年，节省了34万欧元/年。

9）与原有涂装工艺和涂装设备相容，不需进行设备改造，只需对原磷化处理设备进行彻底的清洗并更换磷化液，即可投入生产。

10）系统长度缩减。无需表面调整和钝化工序，可缩短处理时间，新建生产线可减少投资和占地面积。欧洲汽车线使用硅烷比使用磷化在设备投资上可以节省220万欧元。

11）硅烷复合膜处理后，不用烘干，可直接进行电泳。泳透率与锌系磷化有差别（图3-41）。

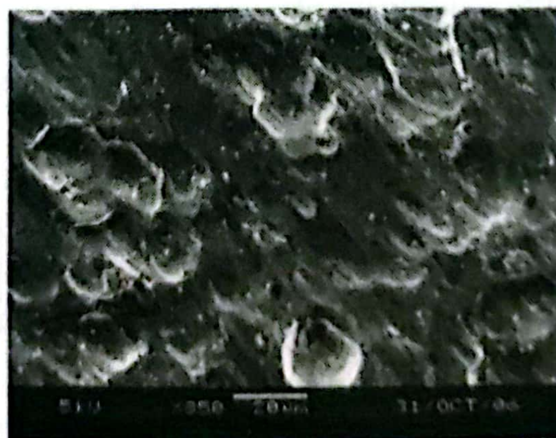


图3-41　硅烷复合膜外观形貌（1 000倍）

六、硅烷复合膜及磷化处理与电泳漆配套后性能

1. 硅烷复合膜与电泳漆配套性

硅烷复合处理工艺处理后的漆膜附着力和耐腐蚀性能与锌系磷化膜性能相当，作为替代传统磷化工艺的新技术，它满足了节能减排的环保型涂装处理和生产技术不断发展的需要。但硅烷复合膜与磷化膜一样，与阴极电泳漆存在配套性问题。

中国一汽工艺所通过在同一块样板上进行两种处理方式，然后进行电泳，来比较性能差异。

这种试验方法减少了试验误差，使同一块样板两侧同一垂直高度上获得完全相同的电泳条件。然后在一块样板两侧同一垂直高度进行相同的性能试验，对试验结果做对比分析（表3-29、和3-30和图3-42、图3-43）。

表3-29　电泳样板机械性能

性能	冷轧板		镀锌板	
	磷化	硅烷	磷化	硅烷
底材表面粗糙度(μm)	0.66		0.74	
前处理后样板表面粗糙度（μm）	0.89	0.76	1.06	0.87
转化膜外观	深灰，均一	浅黄，均一	浅灰，均一	浅蓝，均一
电泳漆膜表面粗糙度（μm）	0.19	0.21	0.26	0.26
电泳漆膜外观	平整、无漆膜弊病	平整、无漆膜弊病	平整、无漆膜弊病	平整、无漆膜弊病
电泳漆膜膜厚(μm)	16~17	18~19	16~17	18~20
划格试验（级）	1	1	1	1
杯突试验（mm）	7.7	8.9	7.5	8.3
耐冲击性（N·cm）	490	490	490	490
抗石击性（级）	2	2	2	2
耐温变性	Rtc1	Rtc1	Rtc1	Rtc1

表3-30　电泳漆膜耐腐蚀性能

	冷轧板		镀锌板	
	磷化	硅烷	磷化	硅烷
耐盐雾性	600 h后 划痕腐蚀量 C=1mm 锈蚀程度Ri0 起泡程度0（S0） 开裂程度0（S0） 剥落程度0（S0）	600 h后 划痕腐蚀量 C=1.5mm 锈蚀程度Ri0 起泡程度0（S0） 开裂程度0（S0） 剥落程度2（S1）	360 h后 划痕腐蚀量 C=1.8mm 锈蚀程度Ri0 起泡程度0（S0） 开裂程度0（S0） 剥落程度0（S0）	360 h后 划痕腐蚀量 C=2.9mm 锈蚀程度Ri0 起泡程度0（S0） 开裂程度0（S0） 剥落程度2（S2）
耐湿性 （504 h）	锈蚀程度Ri0 起泡程度0（S0） 开裂程度0（S0） 剥落程度0（S0）	锈蚀程度Ri0 起泡程度0（S0） 开裂程度0（S0） 剥落程度0（S0）	锈蚀程度Ri0 起泡程度0（S0） 开裂程度0（S0） 剥落程度0（S0）	锈蚀程度Ri0 起泡程度0（S0） 开裂程度0（S0） 剥落程度0（S0）
循环交变腐蚀 （30循环）	划痕腐蚀量 C=1mm 锈蚀程度Ri0 起泡程度0（S0） 开裂程度0（S0） 剥落程度0（S0）	划痕腐蚀量 C=1mm 锈蚀程度Ri0 起泡程度0（S0） 开裂程度0（S0） 剥落程度1（S1）	划痕腐蚀量 C=1.5mm 锈蚀程度Ri0 起泡程度0（S0） 开裂程度0（S0） 剥落程度0（S0）	划痕腐蚀量 C=1.6mm 锈蚀程度Ri0 起泡程度0（S0） 开裂程度0（S0） 剥落程度1（S1）

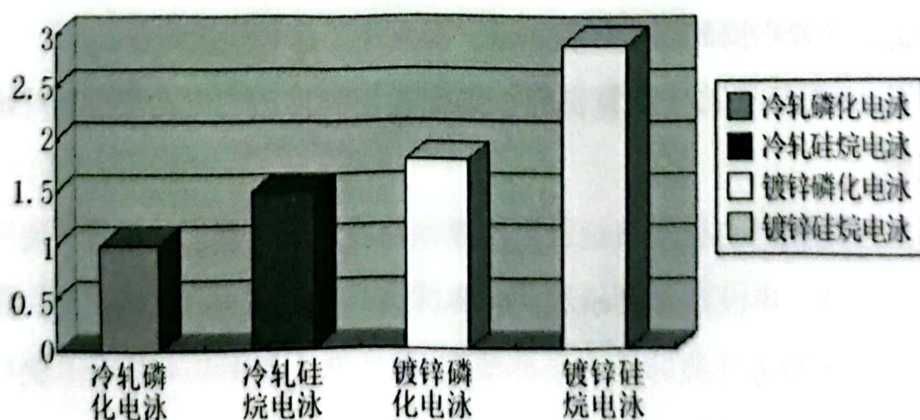


图3-42　不同前处理电泳漆膜耐腐蚀性能对比

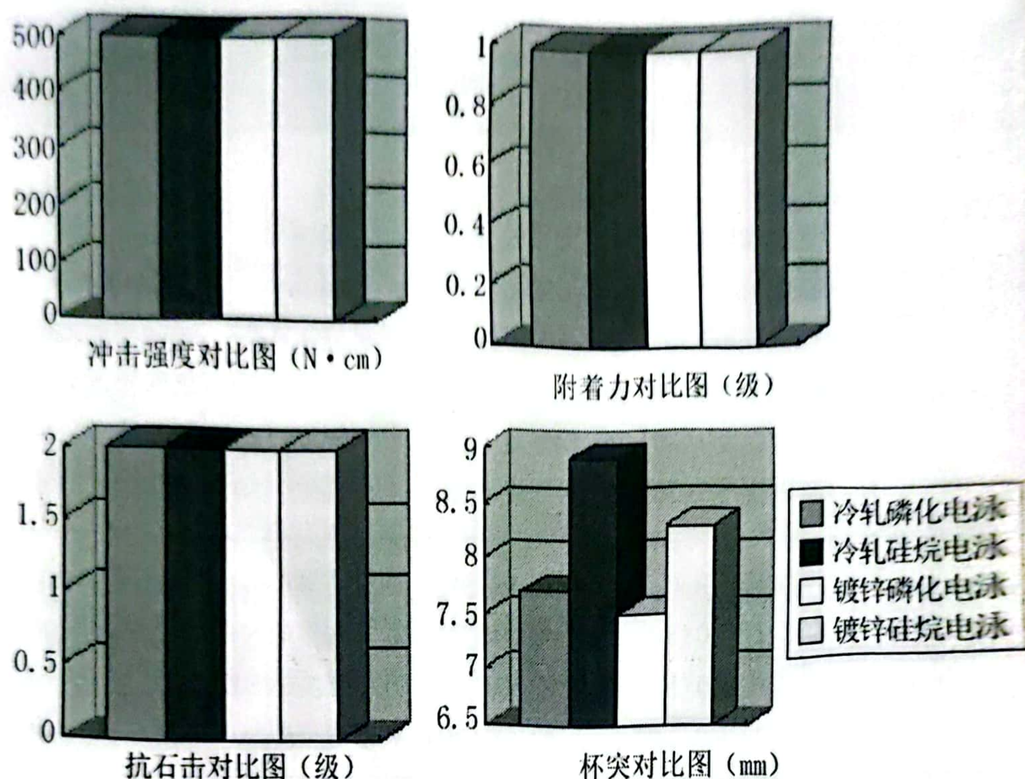


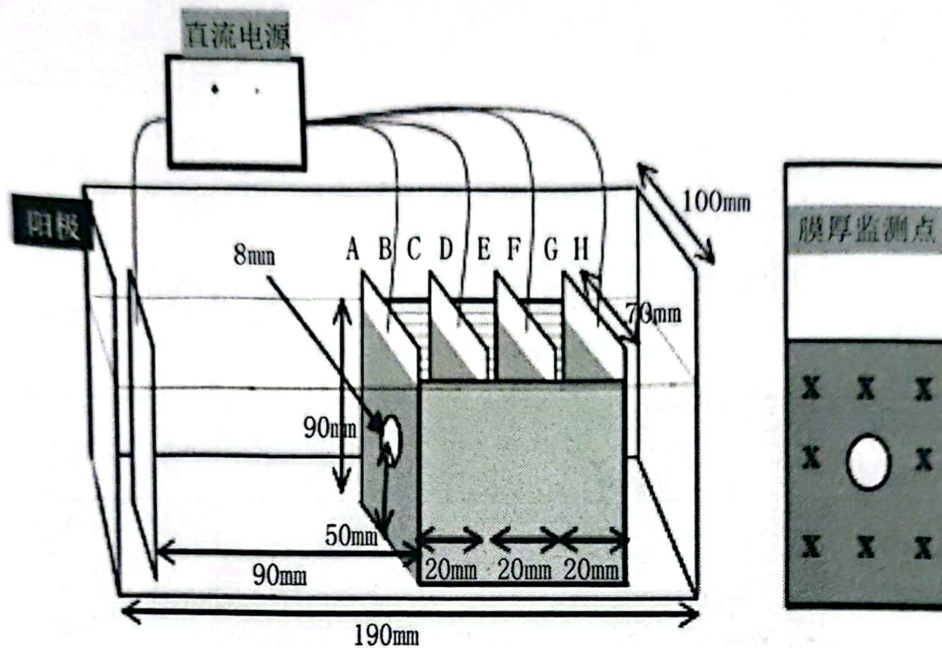
图3-43　不同前处理电泳漆膜机械性能对比

2. 与新型环保型涂装前处理工艺配套的超高泳透力电泳涂料

根据一汽技术中心的试验，由于硅烷复合膜的厚度大大低于磷化膜，其电阻值也大大低于磷化膜。在电泳过程中导致电泳湿漆膜电阻过低，因而电泳漆的泳透力降低。对于目前广泛采用的阴极电泳漆，车身内部的漆膜往往太薄，满足不了涂装质量的要求。

（1）氧化锆硅烷复合膜、磷化膜与高泳透力电泳漆配套对比试验

一汽技术中心的试验是采用氧化锆硅烷复合膜、磷化膜与现用的高泳透力电泳漆和新研制的超高泳透力电泳漆进行对比试验，用当前通用的选择高泳透力电泳漆的4枚盒法（如图3-44所示）进行测试，测试结果见表3-31、3-32、3-33、3-34。



$$\text{泳透力（\%G/A）}=\frac{\text{G板电泳平均膜厚}}{\text{A板电泳平均膜厚}}\times 100\%$$

图3-44　4枚盒法泳透力测试法

a）测试样品

氧化锆硅烷复合剂A、氧化锆硅烷复合剂B。

CED1#、CED2#　　普通无铅CED

CED3#、CED4#　　第一代高泳透力CED

CED5#、CED6#　　新研制的与硅烷复合膜配套的超高泳透力CED

CED7#、CED8#　　新研制的与磷化膜配套的超高泳透力CED

b）试验结果

新研制的超高泳透力电泳涂料与氧化锆硅烷复合膜配套施工性能对比及漆膜性能见表3-31和表3-32及图3-45、图3-46。

表3-31　超高泳透力电泳涂料与氧化锆硅烷复合膜配套施工性能

性能	5#CED		6#CED		7#CED		8#CED	
	磷化	硅烷	磷化	硅烷	磷化	硅烷	磷化	硅烷
库仑效率（mg/C）	33.31	30.74	24.67	22.84	26.97	24.34	30.22	20.81
加热减量（%）	3.6	4.9	7.3	6.84	5.04	6.9	8.12	7.9
再溶解（%）	7.4	4.9	8.1	8.9	5.76	8.8	7.0	8.3
电压与膜厚（V-μm）	（220~240）、15~18	（160~180）、15~18	（220~250）、17~18	（200~220）、17~18	（220~260）、15~20	（150~180）、17~20	（220~240）、15~20	（150~180）、17~20

表3-32　超高泳透力电泳涂料与氧化锆硅烷配套漆膜主要性能

性能	5#CED	6#CED	7#CED	8#CED
表面粗糙度（Ra）	0.15~0.20（磷化） 0.20~0.32（硅烷）	0.20~0.25（磷化） 0.24~0.35（硅烷）	0.20~0.25（磷化） 0.25~0.35（硅烷）	0.20~0.25（磷化） 0.25~0.35（硅烷）
冲击强度（N·cm）	490	490	490	490
杯突（mm）	5.2（磷化） 8.6（硅烷）	5.2（磷化） 8.6（硅烷）	5.8（磷化） 8.6（硅烷）	6.6（磷化） 7.2（硅烷）
抗石击（级）	1	1	1	1
划格试验（级）	1	1	1	1
膜厚（μm）	15~18	17~18	18~20	18~20
耐盐雾（h）	840h、OK	840h、OK	840h、OK	840h、OK
腐蚀交变（循环）	40循环、OK	40循环、OK	40循环、OK	40循环、OK

CS CamScanner

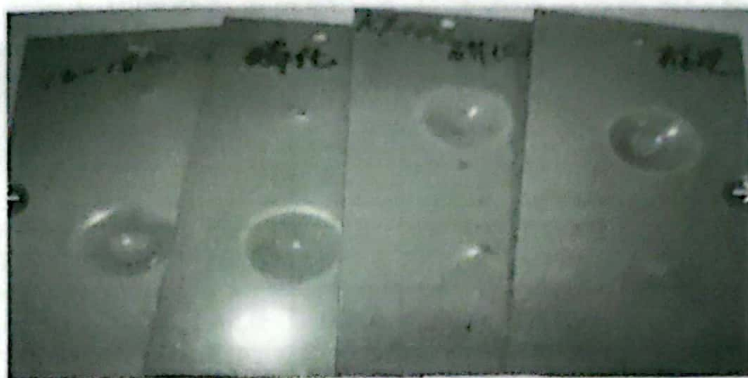
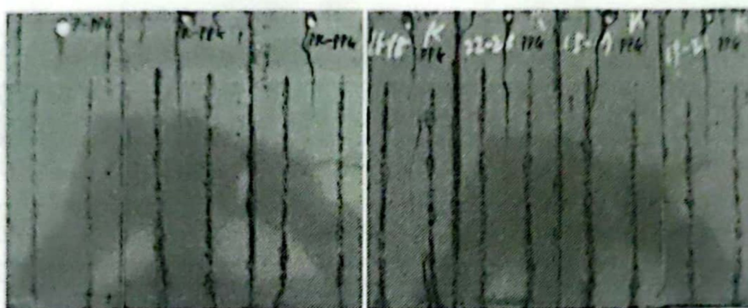
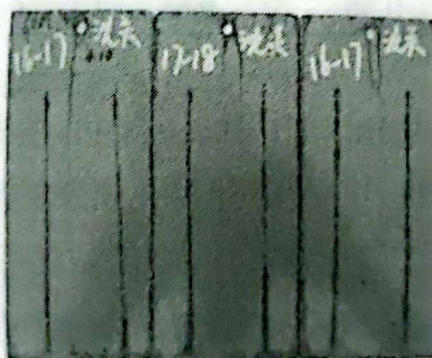


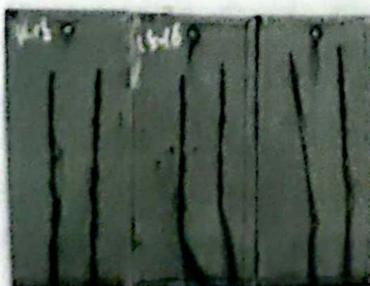
图3-45 磷化与硅烷复合膜机械性能对比样板



磷化+5#CED 复合硅烷A+5#CED 复合硅烷B+5#CED



磷化+7#CED



复合硅烷A+7#CED



复合硅烷B+7#CED

图3-46 盐雾试验后照片

表3-33　采用硅烷复合膜及磷化膜与电泳涂料的泳透力对比

G/A		1#CED	2#CED	3#CED	4#CED	5#CED	6#CED	7#CED	8#CED
磷化		0.38	0.42	0.55	0.47	0.64	0.55	0.72	0.63
硅烷A	pH4.0	0	–	0.11	–		0.56	–	–
	pH4.5	–	–	–	–	0.66	0.59	0.37	0.48
硅烷B	pH4.0	0	0.23	0.24	0.23	0.56	0.67	–	–
	pH4.5	–	–	–	–	0.66	0.66	0.39	0.38

表3-34　采用硅烷复合膜及磷化膜与超高泳透力电泳涂料的泳透力对比

G/A		5#CED	6#CED	7#CED	8#CED
磷化		0.64	0.55	0.72	0.63
硅烷A	pH4.0		0.56		
	pH4.5	0.66	0.59	0.37	0.48
硅烷B	pH4.0	0.56	0.67		
	pH4.5	0.66	0.66	0.39	0.38

从上述二表可以看出，5#CED、6#CED作为新研制的与硅烷复合膜配套的超高泳透力CED相对于磷化膜来说泳透力并不算太高，而新研制的与磷化膜配套的超高泳透力CED应用于硅烷复合膜泳透力较低，因此前处理的类型与阴极电泳漆不但在涂膜性能上有配套性，在泳透力方面也有配套性，而且具有专用的配套性。

（2）硅烷复合膜的耐污染性试验

a）将硅烷工作液稀释500、1 000、2 000倍、去离子水，分别滴到样板中间位置上，产生圆痕，然后电泳—烘干，考核漆膜外观、与磷化结果进行对比。

b）将硅烷工作液稀释500、1 000、2 000倍、去离子水，分别滴到样板表面上，使其产生流痕，然后电泳—烘干，考核漆膜外观，与磷化结果进行对比（表3-35）。

表3-35　硅烷转化膜耐污染性试验结果

	流痕		印痕	
	磷化	硅烷	磷化	硅烷
5#CED	无	有痕迹	无	有痕迹
6#CED	无	有痕迹	无	有痕迹

（3）试验结论

a）所开发的高泳透力电泳涂料（5#、6#）。泳透力性能优异，与硅烷复合膜配套后，泳透力≥0.5以上，涂料性能达到企业标准要求。降低涂装成本，内外膜厚分布均一，外表面膜厚降低，可以降低涂料使用量约20%，降低涂装成本。

优良的涂膜性能，膜厚15μm就能达到目前20μm膜厚的性能，可以用于商用车、微型车、轻型车等涂装生产线作为底涂层。

b）建议涂装工艺：

预脱脂→脱脂→水洗→纯水洗→硅烷复合膜处理（常温、2min）→纯水洗→纯水洗→烘干（或喷淋）→电泳→超滤水洗→水洗→纯水洗→烘干。

（4）不足

a）电泳与硅烷复合膜配套后，湿漆膜附着力稍差，应注意避免工件之间产生磕碰。

b）电泳与硅烷复合膜配套后，漆膜表面粗糙度与磷化比较增大，用做装饰性要求较高的底涂层时，需进行试验验证。

c）硅烷复合膜的耐污染性稍差。节能和环保理念渐渐深入人心，氧化锆硅烷技术展露出更多的优势，具有更可观的发展前景。氧化锆硅烷技术替代磷化技术是一个“革命”，但要把氧化锆硅烷处理技术进一步推广，还有很多工作要做。如在整车上应用，氧化锆硅烷处理与电泳配套后的泳透力问题等。所以对氧化锆硅烷技术的研究任重而道远，目前国内仅有武汉神龙等不多的车身涂装线在

CamScanner

应用，相信在不久的将来，氧化锆硅烷技术一定和磷化技术一样日趋成熟，广泛应用在汽车涂装领域。

七、工艺管理

下面以凯密特产品Oxsilan为例介绍硅烷复合膜处理工艺。

1. 硅烷复合膜处理与磷化处理之间的区别

表3-36 磷化与硅烷复合膜处理技术在使用条件方面的区别

项目	磷化	硅烷
温度（℃）	35～55	室温
时间（min）	3	1～2
成渣量（g/m^2）	3～12	0～0.5
换槽周期	2～6个月	无
耗水量（m^2/L）	4	2
膜层密度（g/cm^3）	1.5	1
膜重（g/m^2）	2～3	0.04～0.1
膜厚（μm）	1～2	0.04～0.2
晶型	晶体	无定形
检测参数	游离酸、总酸、促进剂、氟硅酸含量、锌、镍、锰含量等	pH、电导率、活化点

Oxsilan处理后可不烘干，直接进行阴极电泳。车身硅烷复合膜前处理工艺过程是一个很完整的工艺，其他工业可以适当精减。比如Oxsilan处理后的水洗就可以减少一些（表3-37）。

表3-37 车身Oxsilan预处理主要工艺过程

序号	工序名称	工艺方法	工艺参数		备 注
			温度（℃）	时间（min）	
1	预脱脂	喷淋	40～60	1～2	用主脱脂槽液更换
2	脱脂	浸渍	40～60	3	新脱脂剂加入主脱脂槽

续表

序号	工序名称	工艺方法	工艺参数		备注
			温度（℃）	时间（min）	
3	水洗一	喷淋	室温	0.5	使用二号水洗槽溢流水
4	水洗二	浸+喷	室温	1	使用三号、四号水洗槽溢流
5	纯水洗三	浸+喷	室温	1	出槽新鲜纯水喷淋
6	硅烷处理	浸渍	20～30	1～2	出槽小流量新鲜水喷淋
7	纯水洗四	喷淋	室温	0.5	使用五号水洗槽溢流水
8	纯水洗五	浸+喷	室温	1	出槽新鲜纯水喷淋

2．硅烷复合膜预处理的技术质量

硅烷复合膜层随着处理基材不同产生不同的视觉外观，如在铁板上，硅烷复合膜层是淡黄色的；在镀锌板上，硅烷复合膜层是偏蓝色的；在铝板上，硅烷复合膜层是反光灰色的。

表3-38　经过硅烷Oxsilan9830处理的板材的防腐性能

检测项目 处理的板材	VDA 10个星期 循环测试：单边扩展<2.5mm	BMW 湿热附着力测试：max.GT1	VDA 石击测试：<2级
冷轧板	√	√	√
镀锌板	√	√	√
锌铁合金板	√	√	√
铝板	√	√	√

试验表明，硅烷复合膜的防腐蚀性能与锌系磷化的防腐蚀性能相当，优于铁系磷化的性能（表3-38）。

CamScanner

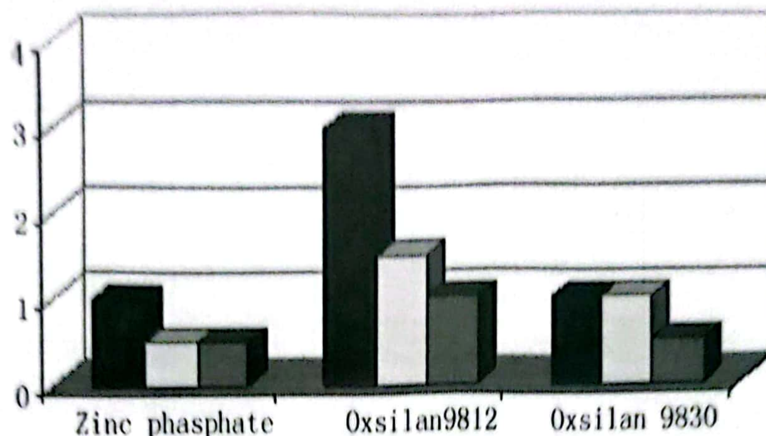


图3-47　在冷轧板材预处理加电泳后经15个循环腐蚀试验的结果

与锆系产品相比，其性能明显优越，硅烷是在冷轧板材上，经预处理加电泳后，按照美国通用汽车公司的GMW14872标准，经15个循环腐蚀试验的结果（图3-47）。

3. 硅烷复合膜技术的工艺管理

1）脱脂工序。要求使用更有效的脱脂方式，比如喷浸结合、使用破乳型活性剂等方式，提高脱脂效率及效果，为后续硅烷处理打下良好基础。日常管理中经常应注意检查脱脂效果。

2）硅烷槽日常管理。硅烷技术的工艺管理比较简单，控制的参数比磷化少，控制容易。

a）槽液日常控制参数：

槽液温度	20～30℃（最大范围为15～45℃）
pH	3.8 ～4.8
活化点	4.1～6.8
电导率	<4 500 us/cm

b）使用手提仪器XRF 可以直读的方式对皮膜进行检测、ICP对槽液进行分析，并可提高检测的准确度。

c）硅烷槽保留了加热设备，一般情况下不需要加热。

硅烷最佳处理温度为20～30℃。日常工作时该温度可由脱脂载带满足，但周一或节假日恢复生产时，还需要将槽液加热到该温度才能获得最佳前处理效果。

d）有些生产线夏季要预防细菌滋生，需添加杀菌剂。

选择优质的涂装材料和良好的涂装设备，并进行精心的现场管理，一定可以获得优良的涂装效果。

采用合理的溢流管路设计和管理以达到节水目的（图3–48）。也可保证清洗效果。

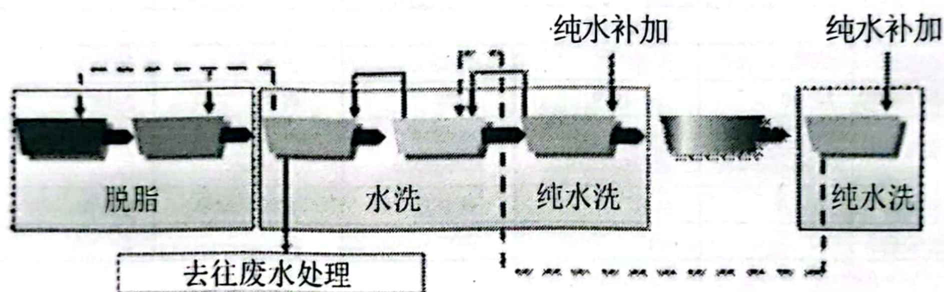


图3–48　溢流管路设计和管理

不同转化膜的厚度见图3–49。

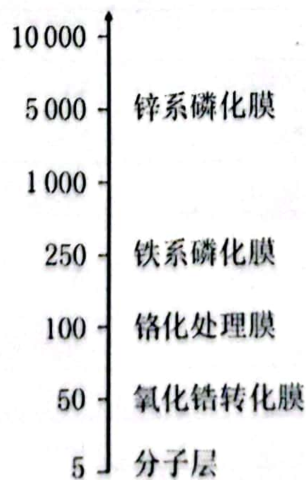


图3–49 不同转化膜的厚度（单位nm）

表3-39 各种前处理工艺对照

传统磷化工艺和新型节能环保涂装前处理工艺					
	铁系磷化	锌系磷化	锆盐处理	硅烷处理	锆盐硅烷复合处理
pH	3.5~5.5	2.5~4.5	4~5.5	4~10	4~5.5
温度(℃)	RT~70	40~75	RT~50	RT~50	RT~50
时间(min)	5~15	5~15	0.5~2	0.5~2	0.5~2
浓度(%)	1.5~5.0	1.5~5.0	1.0~5.0	0.1~10.0	1.0~5.0
工序1	脱脂	脱脂(两道为宜)	脱脂	脱脂	脱脂
工序2	水洗	水洗(两道为宜)	水洗	水洗	水洗
工序3	铁系磷化	表调	水洗	水洗	水洗
工序4	水洗	锌系磷化	锆盐处理	硅烷处理	锆盐硅烷复合处理
工序5	钝化处理	水洗	新鲜RO/DI	水洗(可略)	新鲜RO/DI
工序6	—	钝化处理	钝化(可略)	—	钝化(可略)
工序7	—	RO/DI水洗	—	—	—
外观形貌	蓝/紫/灰/金黄	灰/黑	蓝/金黄	无色	蓝/淡黄
膜重(mg/ft²)	20~80	150~1000	3~20	痕量	3~15
膜层电镜图					/
膜层结构	无定形	晶体	纳米晶	有机/无定形	无定形
防蚀性能	2/3	3/4	3	2/3	3

注：$1ft^2 = 0.093m^2$；评价级别：1=差；2=中；3=良；4=优

表3-40 各种处理膜的运行成本对照

对比内容	锌盐磷化处理	新一代非磷酸盐处理	
		氧化锆转化膜	硅烷处理
膜重	$1\sim3g/m^2$	$100mg/m^2$	$60\sim120mg/m^2$
膜厚（nm）	1～2	40	50～500
处理温度（℃）	35～55	45	RT～40
处理时间（min）	1～3	1.5	0.5～2.0
沉渣	$1\sim2g/m^2$	减少90%以上	无沉渣
有害物质（P、Ni、Mn、F）	有	无	无
表调、钝化工序	必需	可简化、取消	可简化、取消
能耗成本：热能	100	100	42
电能	100	100	47
水/废水	100/100	100/100	40/17
设备投资	100	90～95	70~80
转化膜工序成本	100	90左右	70～80

CamScanner

第五节　有色金属其他前处理

一、阳极氧化

铝及铝合金可以采用化学浸渍方法或阳极氧化即电化学氧化方法处理，能形成无色或彩色的氧化膜层，这种膜层既可用于涂装底层又可单独作为防腐蚀膜层和装饰膜层。阳极氧化比化学氧化性能更为优越，多作为最终防腐、装饰使用或作为着色染色基础。

在阳极氧化处理工艺中，随浸渍的溶液不同，分为硫酸阳极氧化工艺、铬酸阳极氧化工艺和草酸阳极氧化工艺。

1）硫酸阳极氧化工艺（表3-41）获得的铝氧化膜层外观无色透明，厚度为5～20um，硬度较高，孔隙多，吸附力强，有利于染色。主要用于防护和装饰目的。本法工艺简单、操作方便，溶液稳定、成本低廉。电能消耗少，处理时间短，适用范围广。需冷却。

2）铬酸阳极氧化工艺得到的氧化膜较薄，一般只有1～5um，质软弹性高，为不透明的灰白至深灰色，该膜层与有机涂料的结合力良好，是油漆等有机涂料的良好底层。

3）草酸阳极氧化工艺所获得的氧化膜较厚，一般为8～20um，最厚可达60um。具有良好的电绝缘性能，抗蚀能力强。在不含铜的纯铝及其合金上可以得到银白色、黄铜色或青铜色的装饰性膜层。草酸阳极氧化成本较高，电力消耗大，需要冷却。

4）阳极氧化工艺过程：

白件验收——装挂——化学除油——温水洗——流动水洗——脱氧——流动水洗——去离子水洗——阳极氧化——流动水洗——去离子水洗——封闭——干燥——卸件。

CamScanner

表3-41　普通硫酸阳极氧化的工艺规范

成分和工艺条件	直流电氧化		交流电氧化
硫酸（g/L）	180～200	160～170	130～150
温度（℃）	15～25	0～3	13～26
电压（V）	15～25	16～20	18～28
电流密度（A/d m²）	0.8～2.5	0.4～0.6	1.5～2.0
氧化时间（min）	视膜厚而定	60	40～50
阴极材料	铅板	纯铅或铅锡合金板（含锡2%～3%）	
适用范围	一般铝及其合金防护用	铝镁合金的装饰性氧化	纯铝及不要求耐磨的装饰性铝制品

二、有色金属件的铬酸盐处理膜

铝合金由于比重小、导电导热性好、力学性能优、易于加工成型等优点，而在各行业得到了广泛的应用。但在自然环境下其自身形成的氧化膜难以抵御环境的腐蚀，因此必须进行适当的处理和选材来提高其耐腐蚀性能，表面处理就是其中一种常用的处理方法。

目前用于铝合金涂装前处理的主要方法之一是铬酸盐钝化法。铝合金、锌合金件涂装前处理用铬酸盐处理而生成一层金黄色、绿色或无色的铬酸盐膜，作为涂层的底层。

铝合金材料经钝化处理后，可以增强自身的耐腐蚀性能及与涂层之间的附着力，提高耐腐蚀性能。钝化处理固然有诸多优点，但也存在很多其自身无法克服的弊端：钝化处理液中都含有铬酸盐及重金属等有害物质，并且在处理过程中或多或少都会产生沉渣及有害气体，影响生产的正常进行，排放的废水COD及重金属如不进行环保处理就会危害环境。随着社会的发展与进步，人们对铝合金表面处理产品的要求也愈来愈高，不仅希望它自身性能优良，更希望它能满足日益增长的环保需要、人体健康要求及资源节约要求。传

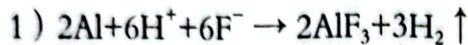
CamScanner

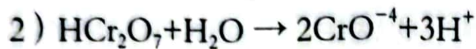
统钝化处理的这些弊端就严重制约着它的进一步发展与应用。

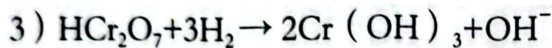
铬酸盐处理剂主要由铬酸盐、氟化物、铁氰化物、氟锆酸盐等组成。处理方法是室温下浸渍或喷淋。

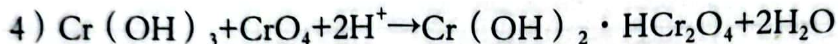
铬酸盐处理（黄膜铬酸盐法）：处理液pH值为1.8～3.0的酸性水溶液，主要成分为铬酸、氟化物及其复盐，并含有铁氰化钾、硒化物等成膜促进剂。

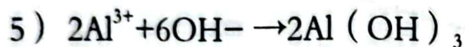
铬酸盐膜的生成反应机理如下：

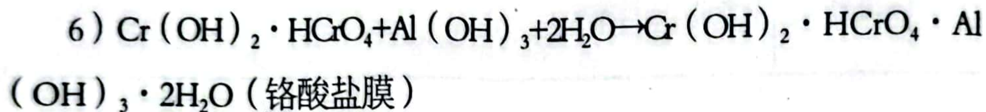

1）$2Al+6H^{+}+6F^{-} \rightarrow 2AlF_3+3H_2\uparrow$


2）$HCr_2O_7+H_2O \rightarrow 2CrO^{-4}+3H^{+}$


3）$HCr_2O_7+3H_2 \rightarrow 2Cr(OH)_3+OH^{-}$


4）$Cr(OH)_3+CrO_4+2H^{+} \rightarrow Cr(OH)_2 \cdot HCr_2O_4+2H_2O$


5）$2Al^{3+}+6OH- \rightarrow 2Al(OH)_3$


6）$Cr(OH)_2 \cdot HCrO_4+Al(OH)_3+2H_2O \rightarrow Cr(OH)_2 \cdot HCrO_4 \cdot Al(OH)_3 \cdot 2H_2O$（铬酸盐膜）

磷酸铬酸盐处理（绿膜）：处理液pH值为1.5～3.0的酸性溶液。主要成分为磷酸、铬酸、氟化物及其复盐。处理后生成色泽鲜艳的绿膜，膜层质量<1g/m²，其化学组成为$Al_2O_3 \cdot 2CrPO_4 \cdot 8H_2O$。

处理液的配方及工艺条件为：

铬酐7g/L

磷酸（质量分数为100%）58g/L

氟化钠3～5g/L

温度25℃

处理时间10min（浸）；3～5min（喷）

由于六价铬的毒性不符合环保要求，人们期望能开发出一种全新的处理工艺，能在保持传统钝化处理工艺优点的同时，又能做到工艺简单、绿色环保、综合成本低。有色金属件的铬酸盐处理膜逐渐为其他的处理方法如氧化锆硅烷复合膜所代替。

CamScanner

表3-42　国外铝制品表面相关的无铬药剂发展过程

[illegible]	[illegible]	1970年	1980年	1990年	2000年	2010年
铝罐	罐体	磷酸铬			锆系	
	顶盖	磷酸铬				（锆系？）.
汽车	空调	铬酸盐			锆系等	
	车轮	铬酸盐，	磷酸铬		锆系，钛系	
	面板	铬酸铬			磷酸锌系	
家电	一般类	铬酸铬			锆系，钛系	
	空调	铬酸铬→	磷酸铬 涂敷	型铬酸盐	树脂系，树脂无机复合	
建材	内装材	铬酸铬 磷酸铬			锆系，钛系	
	屏风（blind）	铬酸铬 磷酸铬			涂敷型锆系 涂敷型钛系	
	铝彩板	铬酸铬，	磷酸铬			涂敷型锆系 涂敷型钛系

第四章

电泳涂装工艺及管理

第一节 电泳涂装工序及工艺

有关电泳涂装设备示意图参见图4-1。

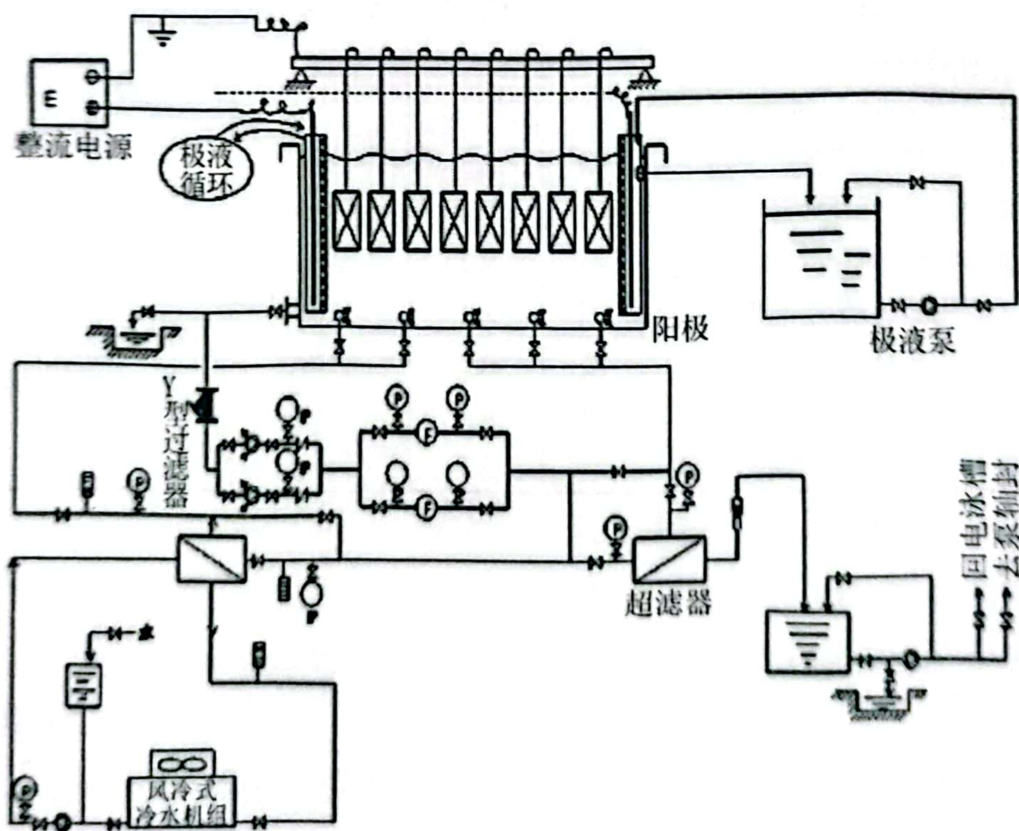


图4-1 简单的电泳设备示意

CamScanner

车身涂层一般是由电泳层、中涂层、面漆层三层构成，其中电泳层是车身的第一道涂层，也是起到耐腐蚀作用的涂层。电泳涂层需具有良好的附着力、机械性能、抗腐蚀性，能够提高车身的耐腐蚀性、耐水性、抗化学试剂性，与中涂层的配套性，对于整车漆膜外观起到非常重要的作用，是车身重要的保护层，电泳涂层的好坏直接影响车身的使用寿命。为确保电泳涂装生产线的正常运行并获得稳定的涂装质量，必须对工艺参数、生产设备及生产环境进行严格的科学管理。表4-1是典型汽车阴极电泳涂装工艺。

表4-1 典型汽车阴极电泳涂装工艺

工序名称	处理方式	处理温度	处理时间	备注
进入电泳涂装设备泳涂底漆 1. 采用电泳涂装法涂阴极电泳底漆	浸	（28±1）℃	3～3.5min	阴极电泳有薄膜和厚膜两种，一次泳涂干膜厚度为（20±2）μm称为薄膜，一次泳涂膜厚为30～35μm称为厚膜，与所选用的阴极电泳涂料有关
2. 电泳后清洗				
2.0 在槽上用UF液或洗	喷	RT	10s	
2.1 用循环UF液冲洗	喷	RT	10～30s	
2.2 用循环UF液浸洗	浸	RT	10s	
2.3 用新鲜超滤液淋洗	喷	RT	10s	
2.4 用循环去离子水浸洗	浸	RT	10s	
2.5 用新鲜去离子水冲洗	喷	RT	10s	
3. 晾干或吹干漆面的水滴		RT	3min	

第二节　涂装现场管理

一、阴极电泳涂装线的主要管理项目

阴极电泳涂料，成膜树脂结构上胺基团被酸中和离子化并乳化，不易分解。比阳极电泳涂料要稳定一些。但是，因为是乳液状态的水溶液，温度、溶剂量、中和剂量的急剧变化会使涂料的稳定性变得脆弱，应充分引起重视。进行细致周密的日常管理，是确保高品质涂层的前提条件。电泳涂装的控制有如下几个项目：

1）电泳槽液固体份。电泳槽液固体份（不挥发份）是成膜物质在电泳漆液中的含量，直接影响电泳涂层的厚度。一般阳极电泳槽液的固体分控制在10%～15%，阴极电泳槽液固体分控制在18%～20%。

2）电泳槽液的pH值。电泳涂料是靠碱或酸中和树脂中的羧基或胺基而形成水溶性的离子。阳极电泳涂料中所用的中和剂为KOH、有机胺，槽液呈碱性，pH值一般保持在7.5～9.0之间。阴极电泳涂料的中和剂是酸，槽液呈酸性，pH值随电泳漆的品种不同一般控制在5.8～6.7之间。电泳涂料的pH值决定了成膜树脂的水溶性。

3）电泳涂料的中和当量（MEQ值）。电泳涂料的中和当量（MEQ值），是表示使涂料中树脂水溶所需要中和剂的量（含化合部分和游离部分）。用中和100g树脂所需中和剂的毫克当量数来表示。槽液中MEQ值的变化，可预示电泳涂料中树脂的水溶量及荷电性能。

4）电泳涂料的库仑效率。电泳涂料的库仑效率是表示涂膜生成过程中电荷［量］消耗的目标值，以消耗1C（库仑）电量析出的涂

膜质量（mg）来表示。由于电泳涂料除电中和引起电沉积外，还有被树脂携带的未中和的树脂及颜料，因此不同的电泳涂料库仑效率不一样。库仑效率高，表明通过电泳槽的单位电量产出的涂膜的量多。一般阴极电泳漆的库仑效率应>25mg/C，阳极电泳漆的库仑效率应>15mg/C。

5）电泳涂装的泳透力。电泳涂装过程中，使背离电极的被涂物表面涂上漆的能力称为泳透力。这是确保复杂零件，例如汽车车身内腔和缝隙涂上漆的目标值。电泳槽液的泳透力越高，表明复杂零件内表面涂上漆的可能性越大。泳透力与电泳漆湿漆膜电阻有关，湿漆膜越致密，电阻越大，其泳透力就越高。

6）电泳槽液中有机溶剂含量。电泳槽液中的有机溶剂含量，是指槽液中除水以外的有机溶剂的质量分数，它有助于涂料树脂的水溶性。从环保要求来看，其含量越低越好。对不同的电泳涂料，其溶剂含量都有指定的范围。溶剂含量过高，涂膜臃肿，电渗不好，泳透力下降。对特定的电泳漆而言，溶剂含量低，树脂水溶性变差，槽液稳定性差。

7）电泳槽液及涂膜的颜基比。颜基比是指电泳涂料（槽液）及涂膜中颜料和基料（树脂）之比。一般补加的电泳涂料的颜基比和涂膜中的颜基比应相符。颜基比失调，表明在电泳过程中颜料和树脂不按一定比例（涂料规定的颜基比）沉积到被涂物上，将可能产生缩孔（颜料分少）、失光（颜料分多）等涂膜弊病。槽液不稳定也会使颜基比失调。

8）电泳涂膜的再溶解性。电泳涂膜的再溶解性，是表示电泳涂料的湿涂膜抵抗再次被电泳槽液和清洗超滤液溶解的能力。电泳涂膜抗再溶解性差，在用超滤液清洗过程中，有可能产生涂膜膜厚降低的现象。此时涂膜表面的树脂被溶解下来，烘干后的漆膜光泽低或户外放置失光很快。

CamScanner

9）电泳涂装的“L”效果。用泳涂“L”形样板的方法考核被涂物的水平面和垂直面的电泳涂膜质量，称为“L”效果。如果样板水平面和垂直面上的涂膜平整度和光泽无差异，可以认为“L”效果好；反之则差。可用以确认槽液的循环效果及槽液的过滤效果。

10）电泳槽液的电导率。电导率是衡量电泳槽液的导电难易程度。对于一指定的电泳涂料，其电泳槽液的电导率与槽液固体分（指已电离的树脂量）、pH值（游离的中和剂量）和可溶性的杂质离子的含量等有关。电泳槽液的电导值量化了中和成离子的树脂和溶解在电泳槽液中的杂质离子的量。而超滤液电导值表示了电泳槽液中杂质离子的量，两者之差表明已中和树脂的量。电泳槽液的电导值超过一定范围将直接影响电泳涂装的质量，特别是偏高时将使涂膜外观变差，偏低时涂膜薄。电导值超高时可以通过排放超滤液、补加去离子水来调整。

11）电泳涂装的工作电压。在电泳过程中，施加于两极之间的直流电压，称为电泳涂装的工作电压。低于某一电压值时，几乎泳不上漆，这一电压为临界电压。高于某一电压值时，沉积的湿涂膜绝缘被击穿，产生异常附着，这一电压值称为破裂电压。电泳电压介于临界电压和破裂电压之间。

电泳涂装的工作电压影响电泳涂膜的厚度和泳透力。为控制初始电流和提高泳透力，在通过式电泳涂装过程中，采用分段电压，在入槽处采用较低的电压，当外表面泳上涂膜后再提高电压泳涂工件内腔，在第一段与第二段电压之间，电压差为（20～40）V。

某阴极电泳涂装槽液管理项目及指标见表4-2、表4-3。

表4-2 阴极电泳涂装槽液管理项目

序号	项目	检测标准	检测频次
1	固体分（%）	20±1	1次/日
2	灰分（%）	23±2	2次/周
3	pH值	6.5±0.3	1次/日
4	电导率（μs/cm）	1 500±300	1次/日
5	溶剂含量（%）/（E-7）	0.3~0.7	2次/月
6	溶剂含量（%）	0.5~2.5	2次/月
7	MEQ值	27±3	2次/周
8	L效果	无异常	1次/周
9	重溶性（%）	≤10	1次/周
10	附着力（1mm）	100/100	1次/月
11	耐冲击性（kg·cm）	≥50	1次/月
12	击穿电压（V）	>300	1次/月
13	分极电阻（KΩ·cm^2）	700±300	1次/月
14	光泽度（%）/（G60）	≥40	1次/月
15	涂膜外观	平整、光滑、无缩孔	1次/周
16	电压膜厚（μm）/150V	18±5	1次/周
17	电压膜厚（μm）/250V	33±5	1次/周
18	电压膜厚（μm）/200V	25±5	1次/周

表4-3 阴极电泳涂装槽液管理项目、基准及控制倾向

序号	管理项目	管理基准	倾向与问题点	
1	涂料温度（℃）	28±1	↑	涂料凝聚（细度发生变化） 膜厚增加（分极电阻降低） 溶剂量减少（溶剂蒸发量增加）
			↓	膜厚减少（分极电阻增加） 涂膜面平滑性下降（膜薄，热流平性差）
2	阳极液电导（μs/cm）	300-700	↑	MEQ值上升（酸去除率下降） 极板腐蚀加重
			↓	MEQ值下降（酸去除率增加）

续表

序号	管理项目	管理基准	倾向与问题点	
3	主副槽液面落差（cm）	5	↑	泡沫产生（涂料起泡） 细度变化，颗粒产生 溶剂量减少
			↓	泡沫产生（液面流速低，不消泡）
4	槽液固体分（%）	18±1	↑	UF液透过量低 二次流挂倾向增加
			↓	涂膜面平滑性下降（膜薄，热流平性差） 膜厚减少 泳透力下降
5	UF液透过量（L/min）		↓	涂料回收率降低 二次流挂倾向增加（水洗水固体分高）
6	纯水电导度（us/cm）	10以下	↑	杂质离子带入
7	过滤器进出口压差（kg/cm）	1	↑	颜料沉降（槽液循环量降低） 颗粒产生
8	烘干炉温℃（被涂物表面温度）	180以上 160以上	↓	固化不足，耐腐蚀性降低 涂膜物理性能下降

在电泳涂装中，还需要考虑的项目有涂膜的加热减量、电泳槽液的更新期、电泳槽液的杂离子含量等。

二、电泳槽工艺项目的影响

1）槽液的pH值、电导率对电泳涂装效果的影响。槽液的pH值、电导率是电泳槽液的两大特性值，它们对电泳特性、槽液稳定性和涂装效果都有较大的影响。图4-2为阴极电泳漆pH值与槽液稳

定性的关系。

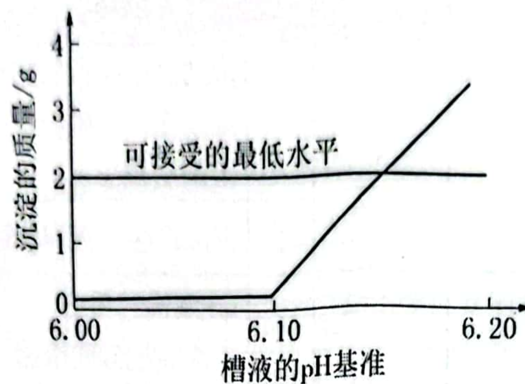


图4-2　pH值与槽液稳定性的关系

2）槽液的电导率对涂膜的厚度、外观和泳透力有影响。槽液的电导率对涂膜的厚度、外观和泳透力有较大的影响，但当电导率变化较小（±100μs/cm）时不会影响涂膜的性能。一般对电导率的控制范围在±300μs/cm。图4-3所示为电导率与泳透力的关系。

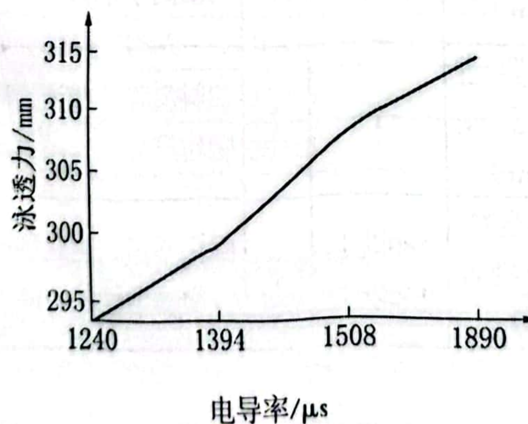


图4-3　电导率与泳透力的关系

3）槽液温度、工作电压和电泳时间对电泳涂装的影响。槽液温度、工作电压和电泳时间是电泳涂装的3个基本工作条件，一经调试选择出最佳值后，一般保持不变。

阴极电泳涂装的温度一般保持在（28±1）℃。槽液温度升高

时，涂膜厚度增加。图4-4所示为槽液温度与膜厚的关系。但槽液温度过高会引起树脂腐败变质，对槽液稳定性不利。槽液温度降低，涂膜厚度变薄。当槽液温度低于15℃时，对涂膜厚度有较大的影响，甚至涂不上漆。

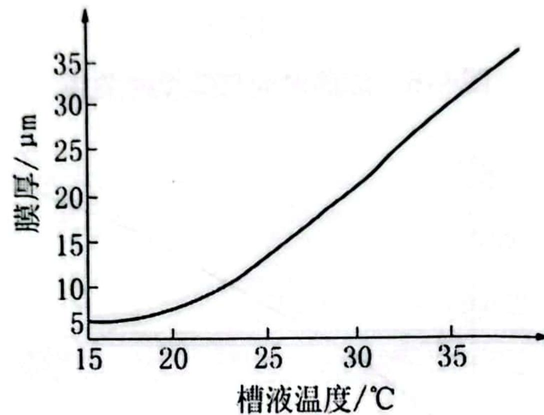


图4-4　槽液温度与膜厚的关系

电泳时间一般为2～3min。图4-5和图4-6所示为电泳时间与泳透力、膜厚的关系，图4-7和图4-8所示为电泳工作电压与泳透力、膜厚的关系。

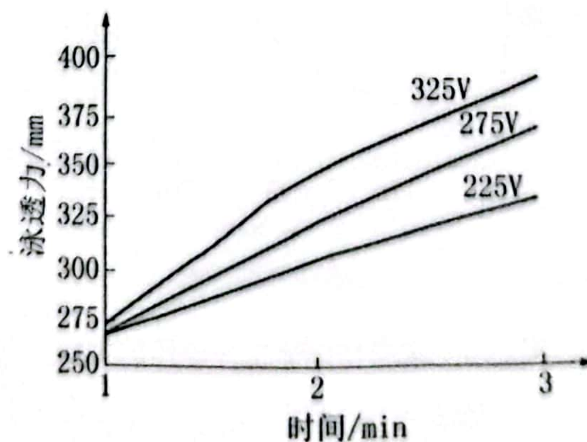


图4-5　泳涂时间与泳透力的关系

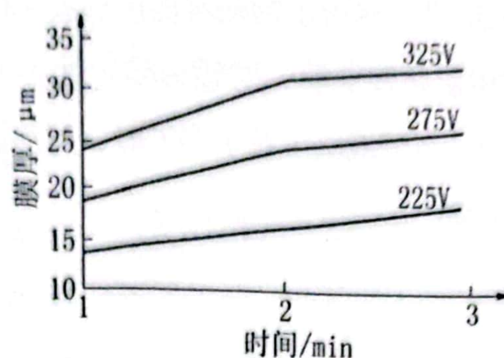


图4-6　泳涂时间与膜厚的关系

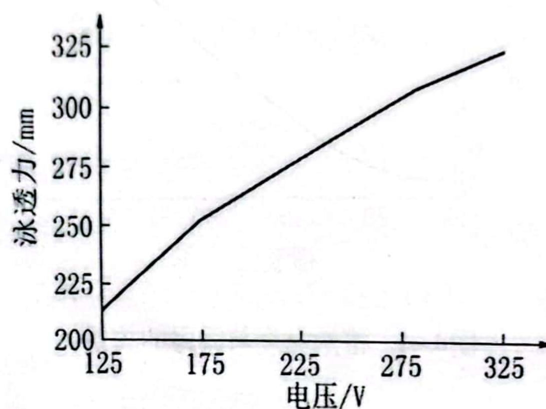


图4-7　泳透力与工作电压的关系

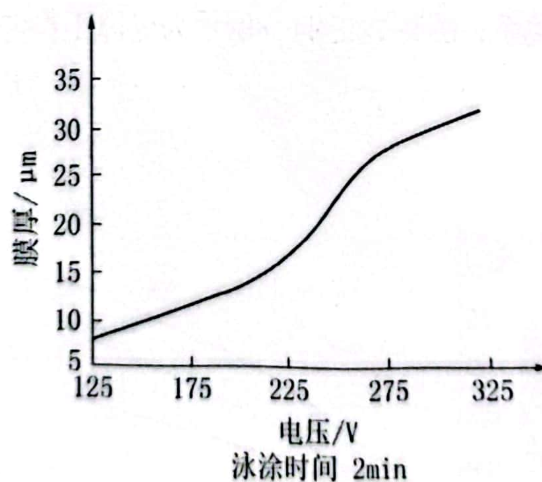


图4-8　膜厚与电泳工作电压的关系

4）槽液固体分、灰分和有机溶剂含量对电泳涂装的影响。槽液固体分（树脂与灰分）和有机溶剂及水是组成电泳槽液的主要成

分，它们各自所占的比例的变化将影响到电泳涂膜的质量。

槽液固体分的增减将影响到涂膜的厚度和泳透力。图4-9是槽液固体分与膜厚的关系。

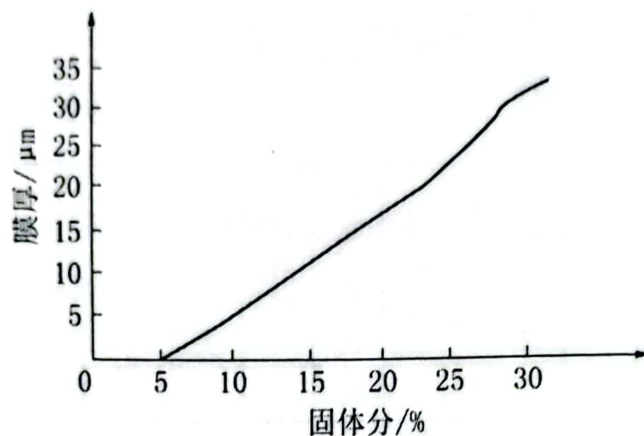


图4-9　电泳槽液固体分与膜厚的关系

槽液中灰分增加，树脂减少，膜厚变薄，电阻值增加，使电泳漆泳透力有所提高。槽液中有机溶剂增加，使涂膜的电渗作用下降，膜厚增加，但泳透力有所下降。槽液组成、槽液特性值、涂装条件之间相互对应关系见表4-4。

表4-4中以槽液固体分为例，当固体分增加，槽液的电导度升高，库仑效率增加，电泳过程中电流值增大，涂膜厚度增加，泳透力上升，超滤器透过量降低，漆膜表面平滑性提高，对镀锌钢板的适应性提高。以膜厚为例，要增加电泳漆膜厚度，可以增加槽液固体分、有机溶剂含量，提高槽液温度及施工电压、延长通电时间来实现。反之，要降低膜厚，可降低槽液温度、施工电压及缩短通电时间来实现。有些用户只考虑降低槽液固体分来降膜厚，但固体分太低会影响电泳槽液的稳定性。为了槽中涂料保持一定的固体分、溶剂量，补加涂料色浆、乳液的配合量要根据电泳线的条件（生产量、灰分等）进行调整。与每天的生产量（工件通过面积）相对应的涂料补给实施，不仅仅是固体分，溶剂量和中和剂量也必然要稳

定。如固体分不稳定的话，其他的参数值也将失去平衡，是不能获得高品质的涂层。

表4-4　槽液组成、槽液特性值、涂装条件之间相互对应关系

参数上升时		槽液特性值		E.D特性				现象结果			备　注
		pH	电导率	库仑效率	最大电流值	膜厚	泳透力	UF透过量	漆面平滑性	镀锌钢板特性	
组成	槽液固体分		↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	
	灰分		↓	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↓	膜厚下降电压上升
	MEQ值	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↑		↓	
	有机溶剂含量		↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↑	
电泳条件	槽液温度				↑	↑			↑	↑	
	选用电压				↑	↑	↑			↓	
	通电时间					↑	↑				
附注				库仑收量(mg/E)				槽液温度过高对UF不利		镀锌钢板面针孔	

三、阴极电泳涂装线上发生的问题及原因和对策

1. 污染问题

1）现象。指的是涂料异常析出且涂膜质量差的现象，也有伴随

针孔的情况。

2）原因。电泳前的被涂物上附着了含有钠等碱性物质的液体，从运输链上滴落的脱脂液、磷化液或从接缝处渗透出来的物质。

3）对策。①防止往传送带上部的过喷。② 加强吊具及被涂物内部的水洗（磷化后）。

2. 2次流挂的问题

1）现象。指的是从被涂物的缝隙部残存的含涂料的液体在烘烤时流出，形成线状痕迹的现象，涂料的浓度高时易形成泡泡糖状。

2）原因。①接缝处的水洗不良。②因UF滤液量低导致回收水洗水的浓度上升。③ 槽液的浓度上升。

3）对策。①加强各水洗范围的水洗。②确保UF滤液流量。③降低槽液及UF清洗液的固体含量。

3. 干斑

1）现象。指的是电泳出槽后附着的涂料变干，用水洗也洗不掉的现象。

2）原因。①从出槽到第1道水洗的时间过长。②电泳出槽部位附近的湿度较低。工件没清洗前局部干燥。

3）对策。①出槽后在30s内实施槽上UF液淋洗。②出槽部位附近用塑料布等围起来，以防止湿度降低。

4. 气泡

1）现象。涂料搅拌时产生的气泡或电泳时产生的气泡在电泳的初期阶段附着在被涂物表面，并由此形成针孔或缩孔状的现象。

2）原因。①被涂物的润湿不良。②电泳槽内的搅拌不充分。③主槽与辅槽的液面落差大。④入槽时的电流密度过大。

3）对策。①加强磷化处理的管理。②提高电泳槽内的流速。③降低主辅槽的液面差。④切断入槽部分的电极。

CamScanner

5. 颗粒

1）现象。在被涂物表面附着有磷化残渣、铁粉的状态下进行电泳时，电流在残渣部分集中，并形成颗粒的现象。

2）原因。①脱脂槽无除铁粉装置，磷化处理液中的残渣浓度过高。②磷化处理后的水洗不充分。③入槽时的电流密度过大。

3）对策。①脱脂槽增加除铁粉装置，增加磷化处理液的循环，降低残渣浓度。②加强磷化处理后的水洗。③切断入槽部的电极。

6. 缩孔凹陷

1）现象。因电泳涂装前或涂装后附着有油等异物，所以烘烤后的涂膜成火山口状的凹陷的现象。

2）原因。①水洗后到烘烤的期间，附着了从传送带等滴下的油。②电泳烘烤时附着了从接缝处渗出或吹出的防锈油。③使用附着了硅油的阀门或垫圈等。④电泳湿漆膜上附着了从其他工程或工场飘浮过来的面漆灰尘或硅油物质。

3）对策。①应完全接住传送带所滴下的东西，在防止油滴落的同时，给传送带仅注上其所需的油量即可。②加强磷化处理的脱脂。③使用禁油阀门、不含硅油的垫圈，事先用溶剂清洗干净。④将电泳涂装范围用塑料布等完全包围起来，使其不受外界影响。

7. 气孔

1）现象。指在镀锌钢板上涂装时发生的针孔现象。电泳涂膜的气孔在烘烤时没有被埋住而残留下来了的状态，就好像用针钻了一个孔一样的非常小的凹陷的现象。

2）原因。①镀锌钢板电泳时的损耗量大。②电压过高。③涂料温度过低。

3）对策。①降低涂装电压。②提高电泳槽涂料温度，提高到30～32 ℃。③增加涂料中的溶剂量，改善涂膜的热流动性。

8. 电泳槽液的霉菌滋生

CamScanner

在电泳生产中，电泳槽液的稳定性至关重要，除电导率、杂质离子等理化指标外，细菌数也是一个非常重要的指标。一般在进入系统的去离子水管路上装有紫外灯杀灭细菌，尽管如此，仍有必要在电泳实验室中检测系统细菌数，当细菌数超过电泳漆供应商的产品要求时，要进行处理，使其能与电泳漆的稳定性相适应。

在电泳槽液、UF清洗液、阳极液中都可能滋生霉菌，此时液体中及槽壁上附着黏液状物体，漆膜颗粒增加，槽液的pH值上升，需要不断地加入醋酸。

解决的办法是加入杀菌剂如ZK-1抑菌剂等。

四、CED涂膜理化性能

阴极电泳涂料多种多样，其涂膜的性能要求也各不相同，如漆膜的防腐蚀性能与耐老化性能就相互矛盾。从部分阴极电泳漆的标准可知，耐腐蚀性能高的阴极电泳漆膜其耐候性能就较低。表4-5所示涂膜性能是作为阴极电泳底漆涂层的一般要求。

表4-5　阴极电泳底漆涂膜性能的一般要求

项目		指标
涂膜性能	外观	OK
	60°光泽	40以上
	铅笔硬度	H以上
	柔韧性	2mm合格
	附着力	100/100
	耐冲击性	50cm以上
	耐盐雾性 划叉单侧剥离2mm以下	800Hr以上
	ED膜厚	20 μm
	烘烤条件	165℃×20min（保持）

CamScanner



第五章 阴极电泳涂装设备

第一节 电泳槽及其附属设备

电泳涂装设备是电泳涂装的专用装备，它是由电泳槽、循环搅拌系统、涂料过滤装置、温度调节装置、涂料补加装置、直流电源系统、电泳后水洗装置、超滤装置、备用槽、极液循环装置等组成，见表5-1。

表5-1 电泳设备各主要组成部分及其作用

序号	部位名称	作　用
1	封闭室（外壳）	封闭、防止溶剂蒸汽外溢，防尘
2	排风机	排出封闭室内的溶剂蒸汽
3	电泳槽	盛装电泳工作漆液，在其中进行电泳涂装
4	循环搅拌系统	使槽内的涂料均匀分散，消除被涂物面与槽液界面的浓度差，使槽内温度均一，防止颜料沉淀

CamScanner

续表

序号	部位名称	作用
5	溢流槽（副槽）、溢流堰	控制电泳槽的液面流速，保持液面无气泡
6	过滤器	过滤电泳槽液中的杂质及涂料凝聚物
7	温度调节装置	控制调节电泳槽液温度达到工艺要求
8	制冷机系统	为调温装置提供冷水
9	涂料补加装置	为电泳槽补加涂料及助剂，维持固体分、溶剂含量在工艺范围内
10	极罩及极液循环系统	控制电泳槽液pH值，排除过剩的游离状态的中和剂
11	直流电源，阳极系统	为电泳涂装提供直流电源
12	超滤装置	为电泳涂装提供“闭合回路”水洗用水，提高涂料利用率，除去杂质离子，净化槽液
13	备用槽	检修电泳槽时贮存电泳工作液用
14	后冲洗系统	冲洗工件表面浮漆，回收涂料，清除二次流痕
15	泵、喷射系统	液体循环，喷射清洗的执行机构
16	阀门	控制液体走向，调节压力及流量
17	各种指示及控制仪表	指示控制各种参数（温度、液位、流量、压力、电导率等）
18	照明灯	设备内照明

一、电泳槽及备用槽

电泳槽有适合于连续通过式生产的船型槽和适合于步进（或滚浸）式生产的方形槽，电泳槽由主槽和溢流槽（副槽）组成，它们是由5～8mm的普通钢板双面焊接，外壁加固而成，体积小的槽体也可以用10mm PVC板塑料焊接，外侧用塑料（焊接）或角钢加固而成，副槽的体积为主槽的10%～20%。

CamScanner

主槽与副槽之间有可调溢流堰，用于调节液面高度和液面流速。在槽体底部设有喷射搅拌系统，喷射搅拌喷管喷射方向，槽底由副槽喷向主槽入口，液面由入口喷向副槽。当槽体较大时，采用文丘里喷嘴，电泳槽体较小时可采用一般喷嘴。主槽两侧配有极罩及极板，槽内壁应涂有绝缘衬里，绝缘衬里一般为3～5mm环氧玻璃钢或不饱和聚脂玻璃钢（涂刷前应喷砂除锈），在干态下应耐2万伏静电直流电压，槽内转角应尽可能设计为圆弧状，从而保证槽底无沉淀。槽体积的确定，要满足工艺要求（电泳时间2min以上），还要满足电泳更新期（T/O）的要求，一般电泳更新期控制在0.1 T/O/月以上。电泳槽设计的尺寸大小如表5-2、图5-1。

表5-2　典型电泳槽断面间隙尺寸　　（mm）

	A	B	C	D	E
汽车车身	200～250	250～300	450～500	250～300	500～550
建材	150～200	200～250	300～350	250～300	450～500
家用电器	125～150	150～200	400～450	200～250	350～400
零部件	125～150	125～150	375～400	150～200	300～350

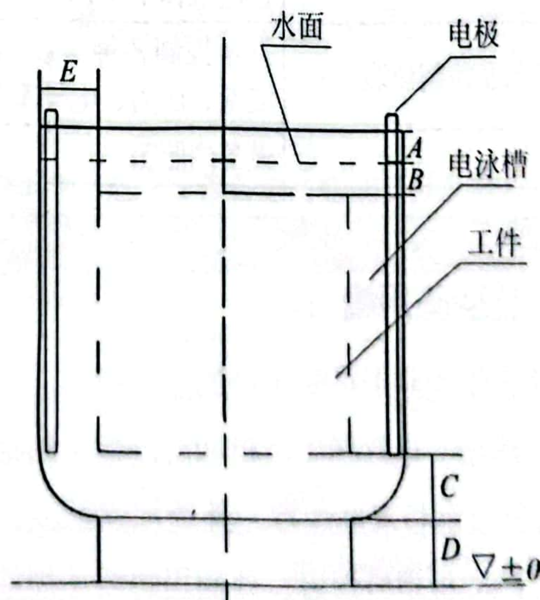


图5-1　电泳槽设计的尺寸

电泳漆备用槽体积应能贮存电泳槽、副槽及管道容积的方形槽，槽内部防腐并且有与电泳槽类似的搅拌循环系统，其循环泵等可以与电泳槽共用一套，但是在管道、阀门等方面应设计成可以往返的方式（如图5-2）。

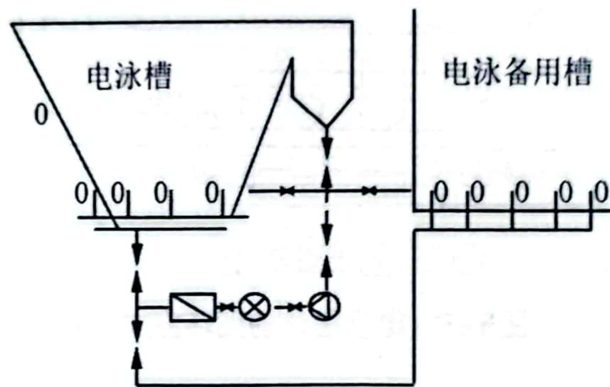


图5-2　电泳槽与备用槽液循环

二、电泳槽的循环过滤系统

电泳槽是盛电泳工作液的槽体，槽体必须相对地绝缘。电泳槽的循环系统要24h不间断地全年工作。循环系统由水泵、袋式或桶式过滤器、冷热交换器，由PVC或CPVC或不锈钢所组成的管道系统，一系列增强搅拌减少涂料固体在槽中沉积作用的喷射器等组成。它所提供的搅拌作用可以为分离电泳槽液中某些物质提供过滤作用，在循环中，它将槽液通过热交换器来使溶液冷却或加温。

循环系统使槽液搅拌以使涂料均匀并防止涂料中固体成分沉降。在大多数的系统中，循环系统被设计成使用一系列的喷射器将槽液沿着槽底向入口处移动，循环泵则位于出口处，它使槽液的表面层向着槽体出口端的副槽运动。这样就使槽液形成头尾间的循环。泵井通常位于槽体出口端的溢流堰箱中。溢流堰和副槽控制着电泳槽的液位，提供了槽液表面的液流并且有助于防止在槽液的表面形成脏物、气泡的积累。

CamScanner

随着电泳工艺的不断开发，电泳槽体的循环方式越来越多，图5-3、图5-4、图5-5是现今电泳槽槽体设计及循环的几个方式。

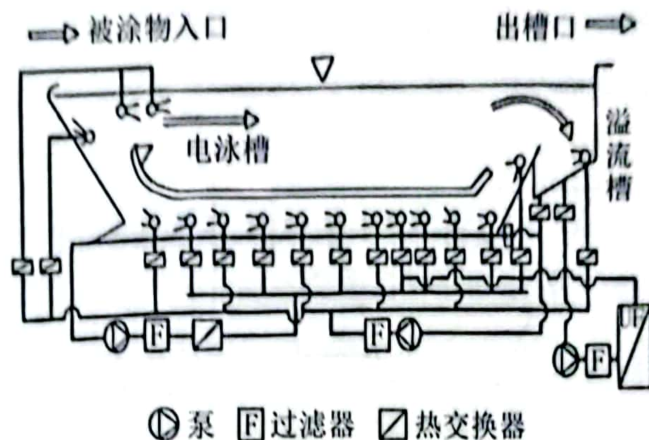


图5-3　电泳槽体的循环方式（1）

A. 原来的方式 设备特征 ①副槽：出槽侧1个 ②吸口：1处 ③过滤器设在槽内循环的副槽部 ④船形槽 问题点：①尘粒去除率低；②尘粒凝聚在底部；③发生尘粒再附着；④产品质量不稳定	已往的电泳槽
B. PE标准方式 设备特征 ①辅槽：出槽侧1个 ②吸口：3处 ③入槽部有特殊锥斗 ④全量过滤 ⑤泵：2处（入槽锥斗处和副槽下） ⑥表面为与车身顺向流，中间、底部为逆向流 ⑦船形槽带锥斗 尘埃大幅度削减。	PE标准的电泳槽

图5-4　电泳槽体的循环方式（2）

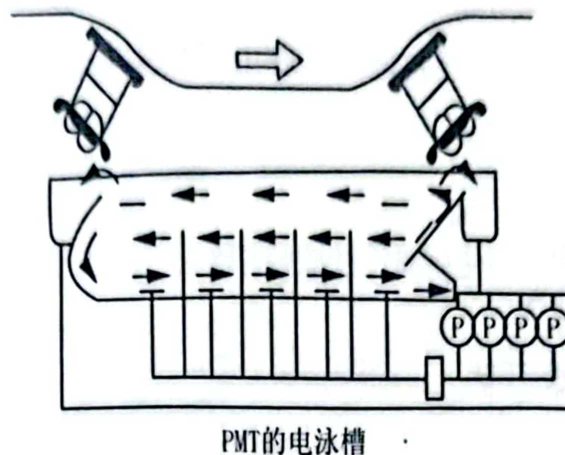


图5-5　电泳槽体的循环方式（3）

在电泳槽设计中必须满足下列所示的条件：

电泳主槽内衬玻璃钢，耐2万伏电压，其他各槽可采用不锈钢或内衬玻璃钢；槽体内衬玻璃钢脱落可能造成涂料反复沉积、溶解、槽壁腐蚀、漏电威胁人身安全。

必须保证的最低循环量：4倍槽液量/hr，循环量不够可能造成槽底沉积和工件表面沉积。

必须保证的最低表面流速：0.2m/s，表面流速低可能造成工件表面沉积及气泡堆积。

必须保证的最低底部流速：0.4m/s，保证槽底无喷射死角，以确保槽底部无颜料沉积。

必须保证的主副槽液位落差：<5cm。

必须保证足够的过滤面积，良好的过滤是保证涂膜无颗粒的重要措施。

必须保证良好的温控换热系统，循环和电泳换热，控制槽液温度必不可少。

考虑到槽积漆的回收。

电泳槽的循环—过滤系统：

1）槽液经循环过滤，除去槽液中的颗粒状的杂质。

2）一般机械杂质用25—50um的过滤袋来清除。

3）在过滤器中至少装入一个吸油过滤袋，经过过滤可以除去电泳槽液中混入的油污。

4）在过滤器中使用磁性过滤袋可除去工件带入槽液中铁粉。

三、超滤工艺

超滤法是利用机械过滤的方法将可溶于水的物质及水与电泳槽液中的固体浓缩液分离的方法。在分离后得到清澈的超滤液。回收的涂料浓缩液可以回到电泳槽，而超滤液则可在其后的水洗中使用。

超滤工艺实际是利用压力差和半透膜来产生超滤渗透。一台超滤器就好像一个肾，它的作用是可以去除有害物质。最初它在电泳工艺中用作槽液的pH、电导的控制。使用它可以从电泳槽中去除过多的溶剂、带入的可溶性污染物和低分子量的树脂，达到净化电泳槽液的目的。 后来，发现超滤液是对出槽的工件做水洗的理想的水洗液，将工件表面黏附的电泳槽液冲洗下来返回电泳槽中达到回收的作用。使用超滤器产生超滤液作水洗可以使电泳工艺中通常所使用的水洗工艺形成闭路循环。只有在电泳槽液的电导升高时将少量的超滤液要流向废水处理设备来除去电泳槽液的可溶于水的污染物。

1. 超滤膜组件

电泳涂装中使用的超滤膜有管式、中空纤维式、板框式及卷式膜。目前的涂装系统超滤膜大部分都是采用卷式膜，卷式膜具有更大的过滤面积。卷式膜组件的结构见图5-6。

卷式膜组件由膜片缠绕中心集液管组成。膜片中间为流道网，

CamScanner

引导原液通过膜表面及透过液流向中心管。为了使流道通畅，原液流道网的厚度和结构在实际应用中可能有所不同。卷式组件最外层包裹一圈比较结实外层，以防止膜片松散。外层可以是用胶带、网或者纤维玻璃/环氧复合材料。

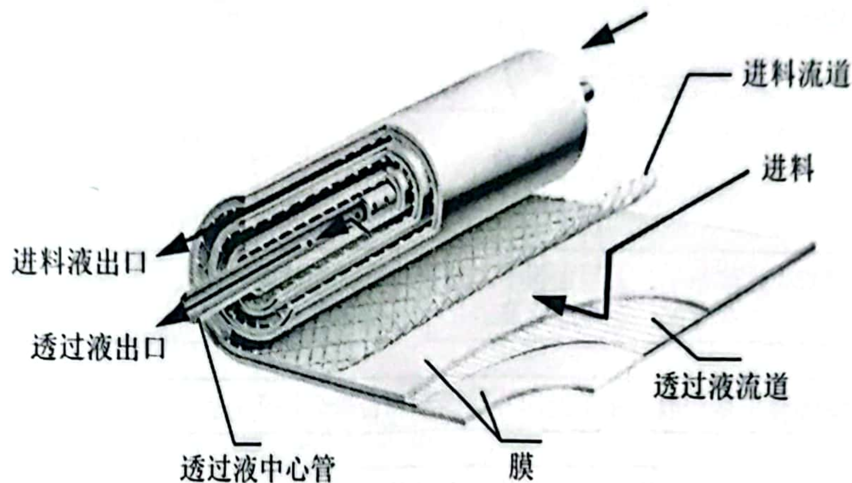


图5-6 卷式超滤膜组件

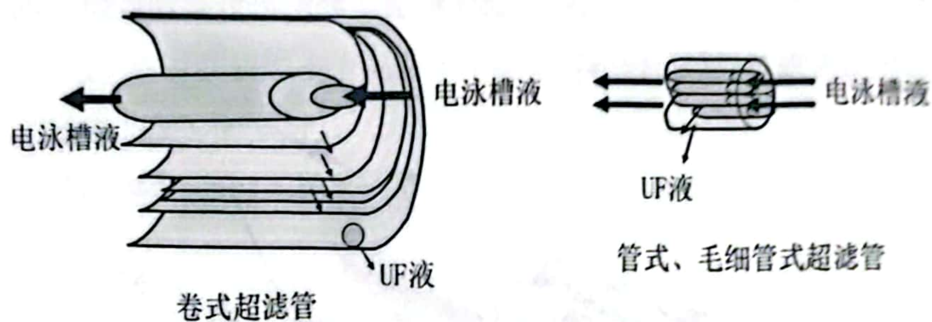
传统工艺中，将卷式膜组件放入一个由聚氯乙烯、纤维玻璃或不锈钢材质的圆柱形压力容器或膜壳中。近来，一体膜被引用到电泳涂装工艺中，该装置可以使超滤膜组件长期安装在一种聚氯乙烯材质的容器中。当超滤器不能再使用时，可以更换整个装置，以减少处理程序并提高安全性。

卷式超滤膜组件中膜片材料有很多种（图5-7），如聚偏氟乙烯、聚砜、聚丙烯腈、纤维素醋酸酯等。因聚偏氟乙烯（PVDF）具有抗化学腐蚀性及耐强酸碱性，所以该种材质的超滤膜在电泳涂装中应用最为广泛。

超滤液中含有水、可与水混溶的助溶剂、低分子量的树脂及可溶性的杂质等。超滤液可用于对工件作洗去表面黏附的过量的涂料时的水洗用。超滤器出液量足够高是十分重要的，这样就能保证产生足够体积的超滤液来满足水洗工艺的需要，一般超滤液用量应为

CS CamScanner

1.2L/㎡（涂装线通过工件面积）。当超滤液产出量小于设计产出量70%时要对超滤设备（图5-8）进行清洗。



卷式超滤膜体积小，占地面积小，透过量大，清洗方便，更换成本高。

管式超滤膜体积大，数量多，更换成本低，使用经济。

超滤液需求量一般按单位时间冲洗面积和设计生产能力进行计算。

超滤液需求量过低则后冲洗不净，损耗量增大。

图5-7　超滤膜的结构类型

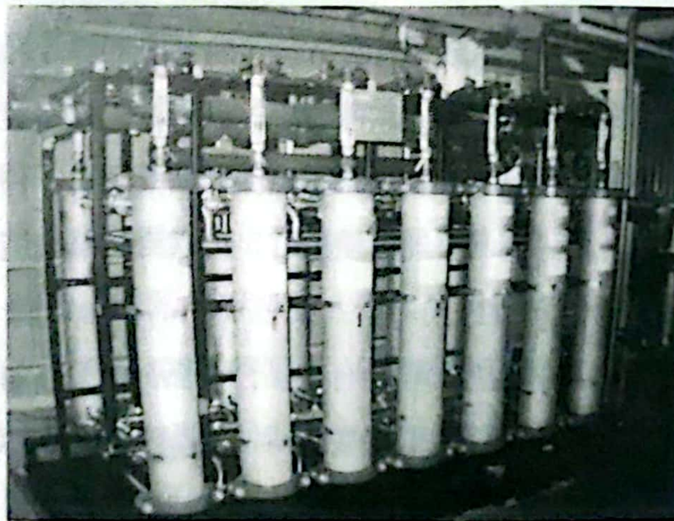


图5-8　卷式膜超滤设备

2. 超滤循环系统的连接方式

超滤循环系统的连接方式有两种：一种直接接到电泳槽循环系统中，适用于小型电泳槽；另一种为内循环方式，如图5-9所示、

适用于超滤液用量较大的电泳生产线。

超滤液被用作电泳后清洗时，超滤液取之于电泳槽必须再返回槽中以达到槽液的平衡，图5-10为超滤液清洗的液体流向平衡图。

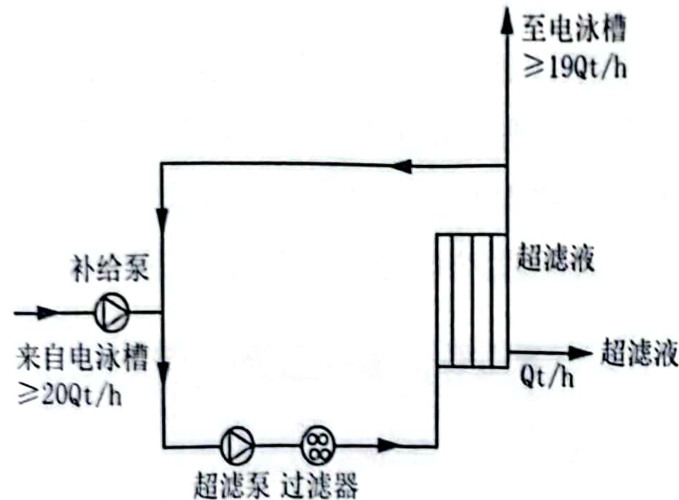


图5-9　超滤内循环补给方式

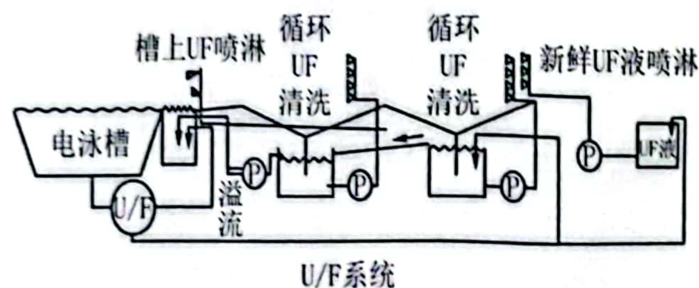


图5-10　超滤液清洗的液体流向平衡图

四、加料系统

在生产中，电泳槽液中的涂料固体分在槽中通过的工件表面上成膜，随着生产的进行，电泳涂料将会不断消耗，为保证电泳漆液正常的固体分、颜基比及电泳漆液的正常比例，每天需补加新的电泳原漆。补加原漆是使用加料系统来完成的。典型的加料系统包括涂料储存容器、涂料输送泵、管道和静力混合器所组成。补充方式大概有3种：

1）混合罐。该系统含有搅拌机、高压输漆泵、过滤器等。电泳原漆通过高压泵打入混合罐，再加入槽液或去离子水（投槽配新液时）搅拌均匀后，通过泵打入电泳槽内。这种方式常用于单组份电泳漆。

2）气动隔膜泵。双组份的电泳漆一般多采用这种补加方式，采用两台气动隔膜泵，分别将色浆及乳液从各自循环管线的过滤器出口注入管线中。色浆泵的注入速度≤38L/min，乳液的注入速度≤76 L/min。美国GRACO公司的气动隔膜泵（见图5-11）。

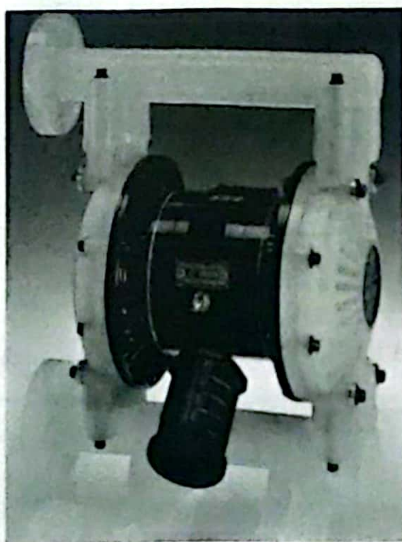


图5-11　加料用气动隔膜泵

3）管道混合器。在槽液的循环管道内安装混合器。一端分别输入槽液和补加的涂料，两者混合好后，从另一端输出。补加的涂料与槽液之比为1:（50~100）。此法适于大批量生产，日补充漆量在1T以上。

五、电泳槽液温控系统

在电泳工艺中，由于通电、槽液泵循环、加热后的工件（如果使用干燥炉）的进入以及室温较高对槽液、工件的热传导等因素的

影响，槽液的温度将会升高。电泳槽液的适宜工作温度为28±2℃（厚膜电泳槽液温度可适当提高）。温度的不适当会影响涂膜的厚度，影响涂膜的外观，造成表面缺陷。温度太低时会使膜厚降低，表面粗糙；温度太高时得到的漆膜较厚，漆膜不稳定，表面有缺陷，并有可能使超滤器损坏。

用不锈钢的热交换器（图5-12）来使循环的电泳槽液的温度得到控制，热交换器中使用冷水（7℃）、热水（35～45℃）来使槽液冷却或加热。温度必须控制在设定值的±2℃范围中。

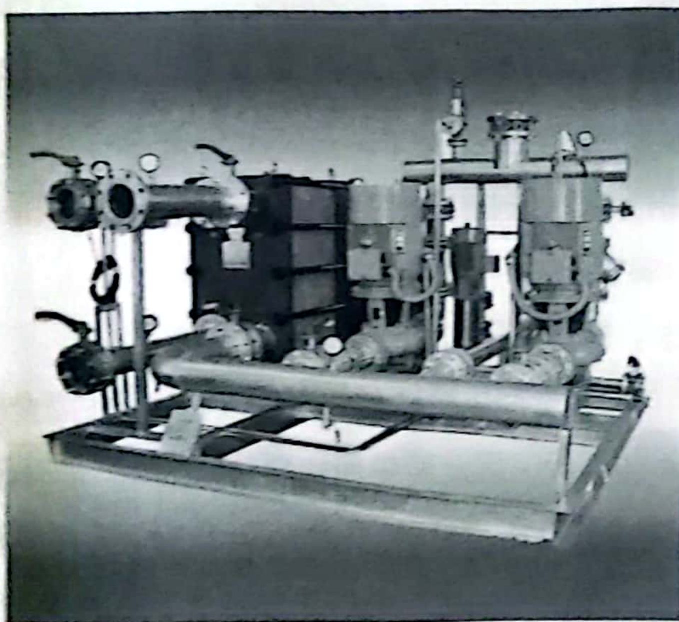


图5-12 板式热交换器

正常生产的情况下，电泳槽液一直处于冷却状态，因此以制冷为主。长江以北地区可将计算的制冷量分成二套制冷机，夏天高负荷时可同时启动，春秋只启动一台，冬天可直接由冷却塔供冷却水以达到节能的目的。为保险起见，热交换器还有联通工业水的通路。

六、电泳用直流电源及阳极系统

电泳槽的成膜需要直流电。我们所熟悉的家用电流是交流电

CamScanner

（AC）。交流电是一种电流的大小和正负极性周期地发生变化的电流。直流电（DC）是向一个方向流动的稳定的电流。直流电对于电泳工艺是必需的。

为了得到电泳工艺中所需要的电流，就要将交流电整流成为直流电流。整流器是将交流电转换成直流电，并使电压升高的电气设备。当交流电转换成直流电后，在整个使用中它的纹波不能超过5%。直流电流中的纹波是交流供电留在直流中的成分。过多的交流成分会造成漆膜的缺陷、破裂、粗糙和不均匀等缺点。

1. 整流电源

1）整流设备的电流容量、电压调整范围。整流设备的电流容量、电压调整范围适应生产要求，一般I=（10～20）×槽内停满电泳工件最大面积）A；通过式电泳方式系数取10，间歇式系数取20。

V= 0～450V可调。

整流要求：输出电压的脉动率<5%。

2）软启动方式：间歇式涂装线工件入槽时工件是全裸的，通电时往往脉冲电流很大，因此要采用软启动的方式，即升压时间在30s内，从0V升到施工电压，然后通电150s，自动断电后才移动工件。连续式涂装线一次调压稳定生产。在运输链出现事故时应可调整至临界电压。

3）多段电压设计：在汽车车身电泳涂装线，入槽时为防止电场反应激烈，采用较低的电泳电压，当外表面泳上涂膜后为提高泳透力使车身内表面泳上漆膜，往往提高施工电压，一般升高20～40V，这样在一至二段电压之间有一个电压差，应用中防止串电。措施是在二段电压分隔处对应的阳极要分开一段距离。即在连续排布的阳极中抽去1～2个，形成二段阳极之间有一定的空隔。当大型连续式电泳槽设置二段电压时，二段电压差<60V时，二段电极罩之间应当有300～400mm距离，当超过60V时要求留有的距离增大一倍。阳极

CS CamScanner

的排布从电泳槽的出口端开始往前排布，入口端可以排布得稀一些（图5-13、图5-14）。

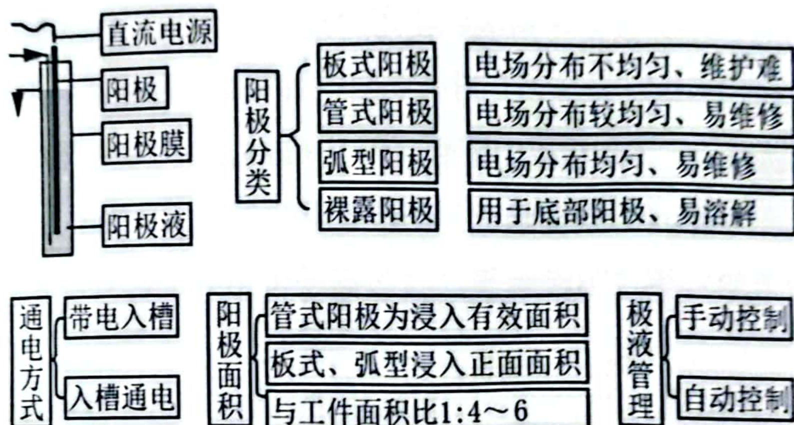


图5-13　阳极系统要求

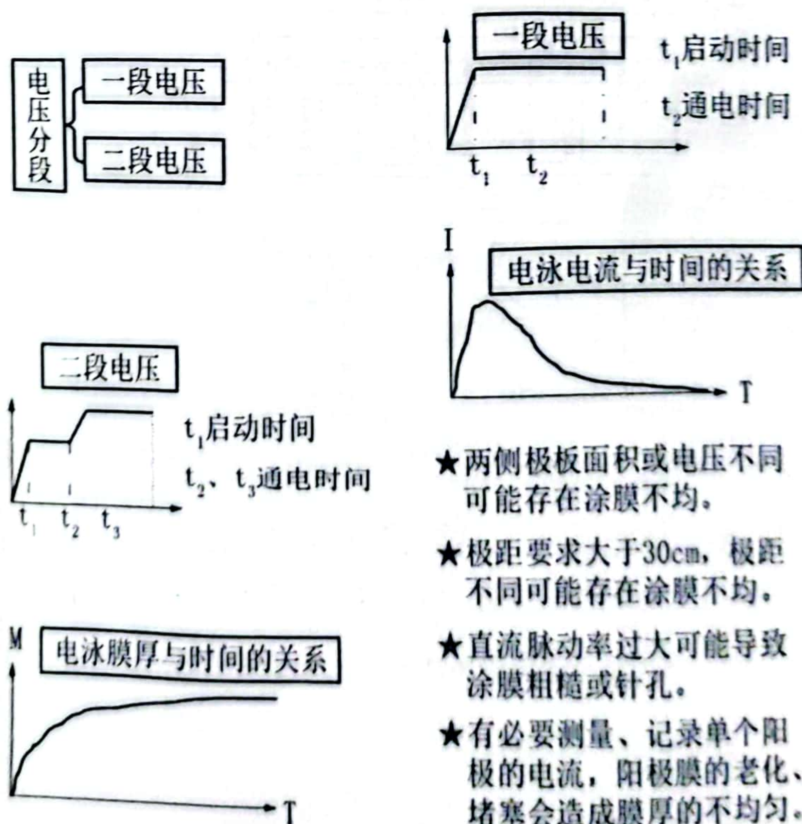
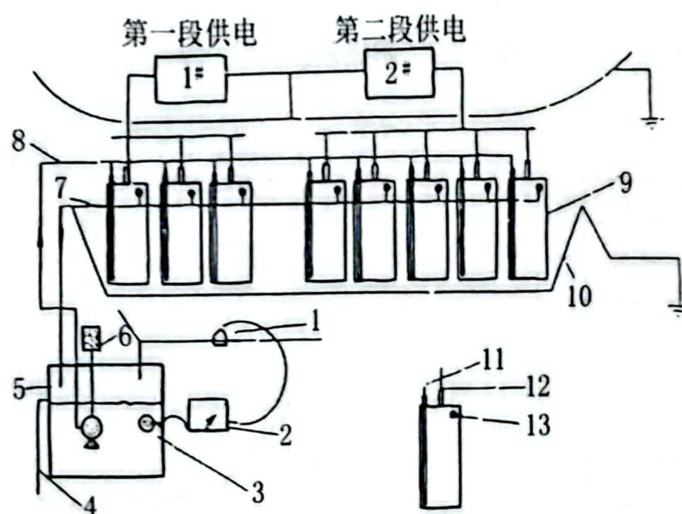


图5-14　采用通电方式及电流曲线

2. 阳极液循环系统

阳极液循环系统（图5-15）是一个自循环系统，它用于从电泳槽中清除酸并为阳极提供冷却。

阳极液循环系统由不锈钢或聚丙烯制造的阳极液储槽、循环泵、电导率监测系统、阳极罩、阳极和不锈钢或聚丙烯管道所组成。所有在阳极液循环系统中使用的元件必须能在pH2.0的条件下工作。阳极液循环系统循环方式如图5-16，每个阳极罩中阳极液的流量约为6L/㎡（阳极罩中阳极面积）·min。如在一个阳极罩内的阳极面积为0.5㎡，则要求送到阳极罩中的阳极液不少于3 L。流动的阳极液除将穿过阳极隔膜的酸根离子带出外还起到冷却阳极的作用。



1. 去离子水电磁阀；2. 电导仪；3. 电导探头；4. 阳极液溢流口；5. 阳极液槽；6. 供给泵；7. 返回管；8，11. 阳极液供给管；9. 阳极板及极罩；10. 电泳槽；12. 接电极；13. 阳极液溢流返回出口

图5-15　阴极电泳设备中阳极及阳极液循环系统示意

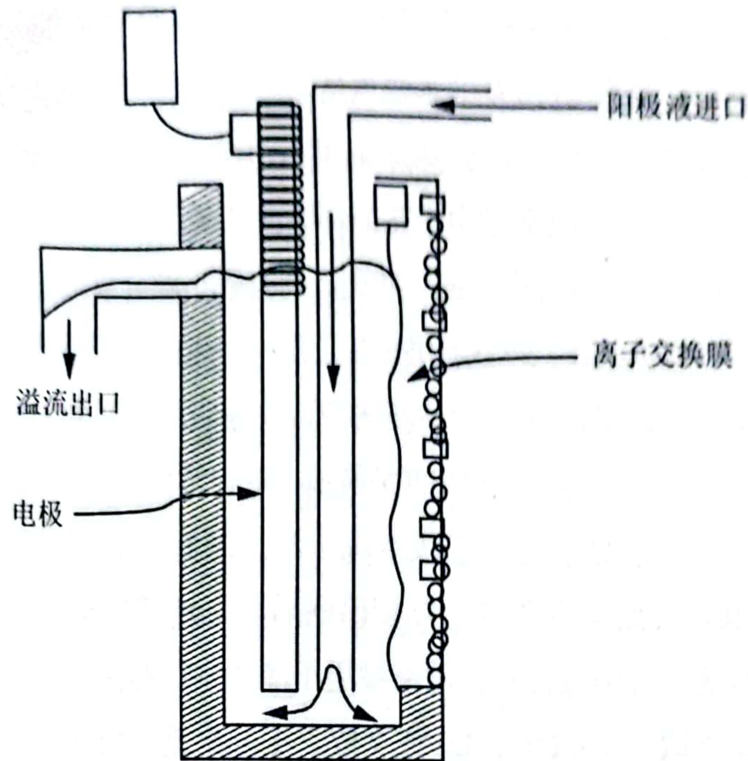


图5-16 阳极液循环系统示意

七、电泳后水洗系统

采用水洗工艺是为了去除黏附在已沉积的电泳漆膜上过多的油漆材料。在水洗中将非电泳沉积的油漆固体回收利用，它有助于防止在涂膜表面上可能产生的缺陷。理想的水洗应在工件离开电泳槽后的15s内进行，通常的水洗实际所需的水洗时间由工序、线速度和

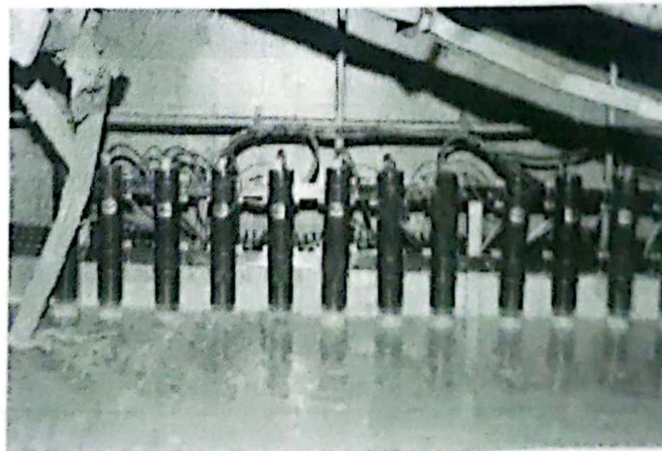


图5-17 阳极罩实际布置

CamScanner

工艺时间所决定。一般0次水洗只有一排喷嘴，其他喷洗约30s，浸洗为浸入即出，新鲜UF液及纯水洗也是一排喷嘴。

整个超滤液清洗液的流向为新鲜超滤液淋洗后落入浸洗槽中，从浸洗槽溢流至UF循环喷洗槽中，在循环喷洗槽泵流量的大部分用于循环冲洗，其中小部分分流至槽上冲洗，尚有极小部分靠液位差溢流到副槽中，当不生产时，超滤器仍然在工作，产生的新鲜超滤液从处于高位的超滤液贮槽中溢流至UF浸洗槽，并逐级溢流回到电泳槽副槽，以不断溢流的方式减少各级UF清洗液中的电泳漆固体分。

在作闭路水洗处理时，二级水洗溶液（超滤液和洗下的涂料固体、EDRO去离子水洗水）互相串联后与电泳槽的辅槽串连相通。当工件从系统中经过时，逐渐被更干净的水洗溶液洗涤。由于EDRO纯水是取之于UF液，UF液又取之于电泳槽，EDRO纯水洗液体直接溢流到UF浸洗槽，UF浸洗槽液往前溢流直至辅槽，电泳后清洗形成闭路循环。

通常在水洗工序中还有两道或更多的水洗步骤，水洗方法有喷淋和浸渍法，或者将二者结合使用。

电泳后水洗系统（表5–3）包括UF喷淋、UF浸洗、纯水洗或EDRO水洗。

表5–3 电泳后水洗系统

工序	目的
1. 槽上水洗（UF液）	小体积、低压，将工件表面黏附槽液冲洗回电泳槽
2. 喷淋水洗（UF液）	大体积、低压、去除工件表面油漆固体分
3. 喷淋或浸渍（UF液）	大体积、低压、再次去除工件表面及工件内部的油漆固体分。出槽后用新鲜UF液淋洗。
4. 喷淋或浸渍（循环纯水）	高压、大体积水洗，去除油漆表面固体。采用浸渍法，将工件浸在去离子水中。与UF液不同，去离子水不会起泡
5. 喷淋新鲜去离子水水洗	低压、低流量喷淋，使工件水洗得更干净

后冲洗水与槽液的总体平衡系统是保证系统正常运行的关键。故对关键性液位控制系统的加强管理是十分重要的。

对无铅电泳底漆应在纯水进电泳系统前加紫外线杀菌装置，有EDRO系统的生产线应在EDRO干净水出口加紫外线杀菌装置。

EDRO系统在电泳后冲洗中的应用越来越多，EDRO系统的应用实现了ED涂装的零排放，将涂料利用率提高到了极限。但按一定周期对后冲洗水的部分更换及槽底清理在实践中还是必要的。

涂料回收率 = [1-（最后回收水NV/槽液NV）]×100%

一般UF水洗系统的回收率：95%~97%

UF水洗+EDRO系统的回收率：98%~99%

更大的UF液生产能力，有利于提高涂料的回收利用率。

1. 电泳后清洗循环纯水再生技术

电泳的后冲洗分两部分：UF水洗及DI水洗。UF冲洗是一闭路循环系统，附着在工件表面上的电泳漆，96%左右回到了电泳槽。但尚有4%左右被带到了DI水冲洗系统。在DI水冲洗系统中，最后是新鲜DI水喷淋，其用量为1.5~2L/m^2，这部分水流至前面的DI水槽，DI水槽中多余的水从溢流口流至下水道。如此，既造成电泳漆的浪费，又增加了污水处理的难度。

近几年日本、美国的膜分离公司，正在研究解决这个问题，已有初步成效。具体做法是将循环DI水槽的水，经过一膜分离系统，分离出的浓缩液打至UF装置，分离出的水再用作新鲜DI水洗用水。

该项技术的关键在膜分离装置，用卷式膜分离，膜易堵塞，寿命仅3个月。膜分离装置采用中空纤维，效果较好，但成本较高。不过从长远利益考虑还是合算的。电泳后的废水处理再利用原理见图5-18。

CamScanner

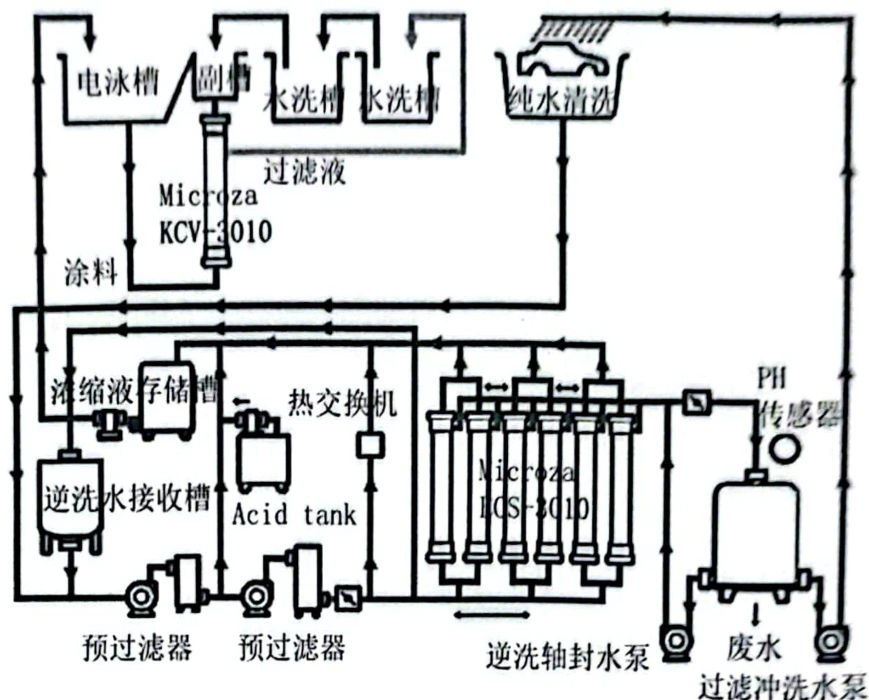


图5-18　电泳后废水处理再利用原理图（中空纤维膜）

2. 反渗透技术

过去生产纯水多采用阴离子、阳离子树脂吸收水中的阳离子、阴离子而产出纯水，当离子树脂吸收饱和后要用酸和碱进行再生，程序麻烦且污染大。现在多采用反渗透设备制造纯水。

反渗透也是压力驱动、错流分离的过程，依赖孔径尺寸进行分离，但反渗透膜的孔径相比超滤膜要小的多，并且反渗透膜表面带有电荷，对离子有更好的截留。反渗透膜的工作原理是相对扩散率、分子量排阻、电荷相互作用的综合结果。因压力必须大于渗透压，所以反渗透的操作压力大于超滤膜。反渗透膜不能直接应用于电泳涂装中，因为电泳漆中的颜料和高分子树脂会很快将膜污染并造成堵塞，但是，可以应用于超滤液的处理过程中。在这一过程中，反渗透膜将低分子量树脂和溶解盐截留，只允许水通过。

图5-19是示意各种过滤方式的过滤膜允许通过的微粒直径范围。

CamScanner

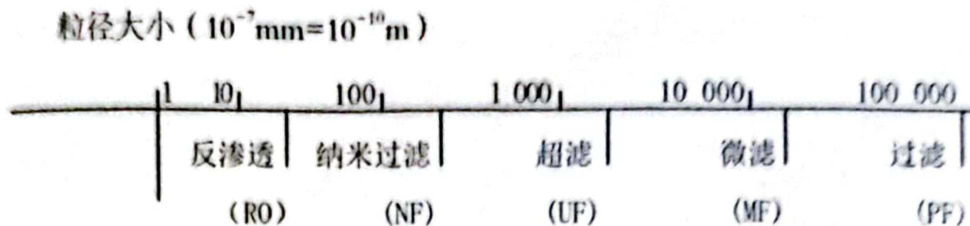


图5-19　各种过滤方式的过滤膜允许通过的微粒直径范围

3. 超滤闭环淋洗系统的反渗透应用

反渗透膜应用于电泳超滤工艺中，可以实现电泳后清洗闭路循环，增加电泳漆的回收率，并减少废水的排放量。同时，反渗透膜还有可能提高整个循环系统的工作效率。

典型电泳涂装工艺中，超滤闭环淋洗系统（图5-20）包括以下淋洗步骤：循环超滤液槽上喷洗，循环超滤液喷淋，循环超滤液浸洗及新鲜超滤液喷淋。

新式电泳涂装工艺中，超滤/反渗透闭环淋洗系统包括以下步骤：循环超滤液槽上喷洗、循环超滤液喷淋、循环超滤液浸洗、新鲜超滤液喷淋及循环反渗透液喷洗、循环反渗透液浸洗及新鲜反渗透液喷淋。

当前最先进的电泳涂装线后清洗全封闭的设备工艺见图5-21。

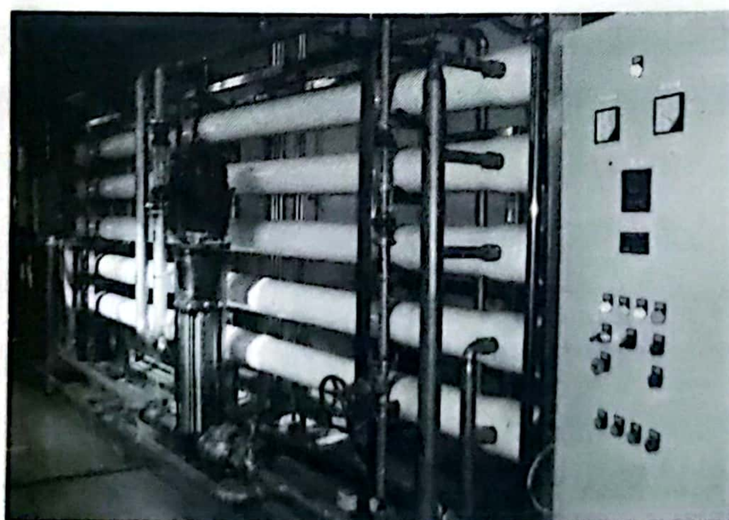


图5-20　超滤闭环淋洗系统的反渗透设备

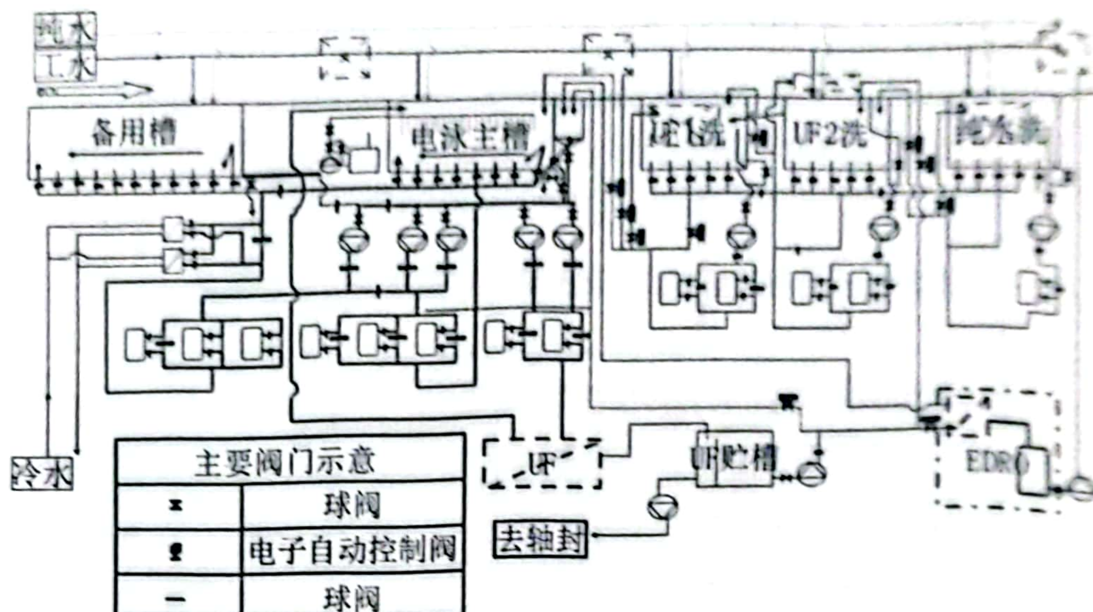


图5-21　电泳涂装线后清洗全封闭的设备工艺

八、滴干区—晾干通道

工件在经过水洗后要在沥干区/晾干通道中沥干一段时间，将水分蒸发，滴干过量的水洗液。

在室温下的沥干时间应有5min，如果时间更长些则更好。如果在滴干区将工件加热到60～70℃也是会有帮助的。由于脱水作用，使用较长一些的沥干时间或采用加热方法都有助于将褶缝处残存的水分或涂料固体去除。这些残存的水分必须去除，否则在固化炉中，这些水会随温度升高而沸腾，沸腾后的液体就会喷溅而造成瑕疵。

第二节　电泳线生产准备

一、电泳槽配槽步骤

将电泳涂料投入电泳槽中是一个复杂的过程。任何杂质的混入

都会引起电泳漆膜弊病甚至槽液报废。如一种硅酮有机物只要混入ppm级的量，就会造成缩孔，在很长时间内都难于消除。因此在清洗电泳槽的最后阶段要进行缩孔试验，合格后方能投槽（图5-22）。

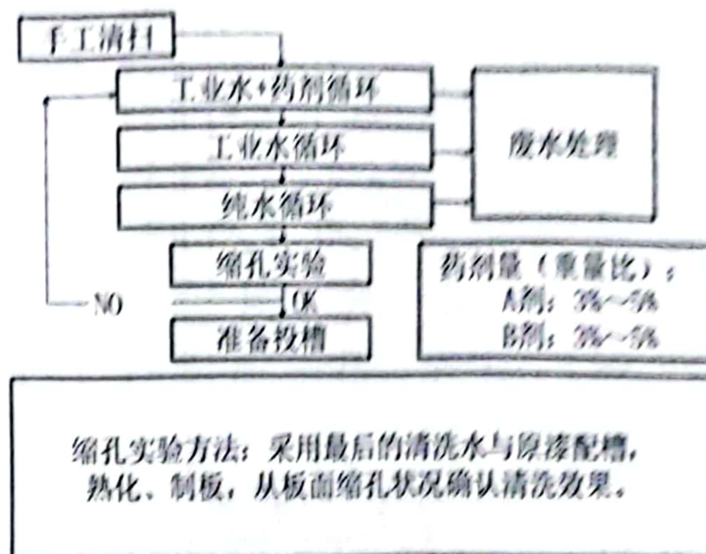


图5-22 电泳槽投槽清洗步骤

下面的清洗流程图（图5-23）是汽车厂大型电泳涂装线设备清洗的过程。

1. 配槽加料顺序与熟化

加料顺序应按先乳液，后色浆，再补水，再调整F-3A的量进行。配好槽后，应按产品说明书中的要求进行熟化。

熟化的目的有两点：

1）充分混合。

2）让部分有机溶剂挥发出去，降低有机溶剂含量。

熟化的方式有两种：

1）恒温（30℃左右）敞口搅拌一定时间。

2）排放超滤液，加速降低溶剂含量，超滤液排放量可计算，也可按经验值。

2. 投槽后电泳线调试方案（图5-24）

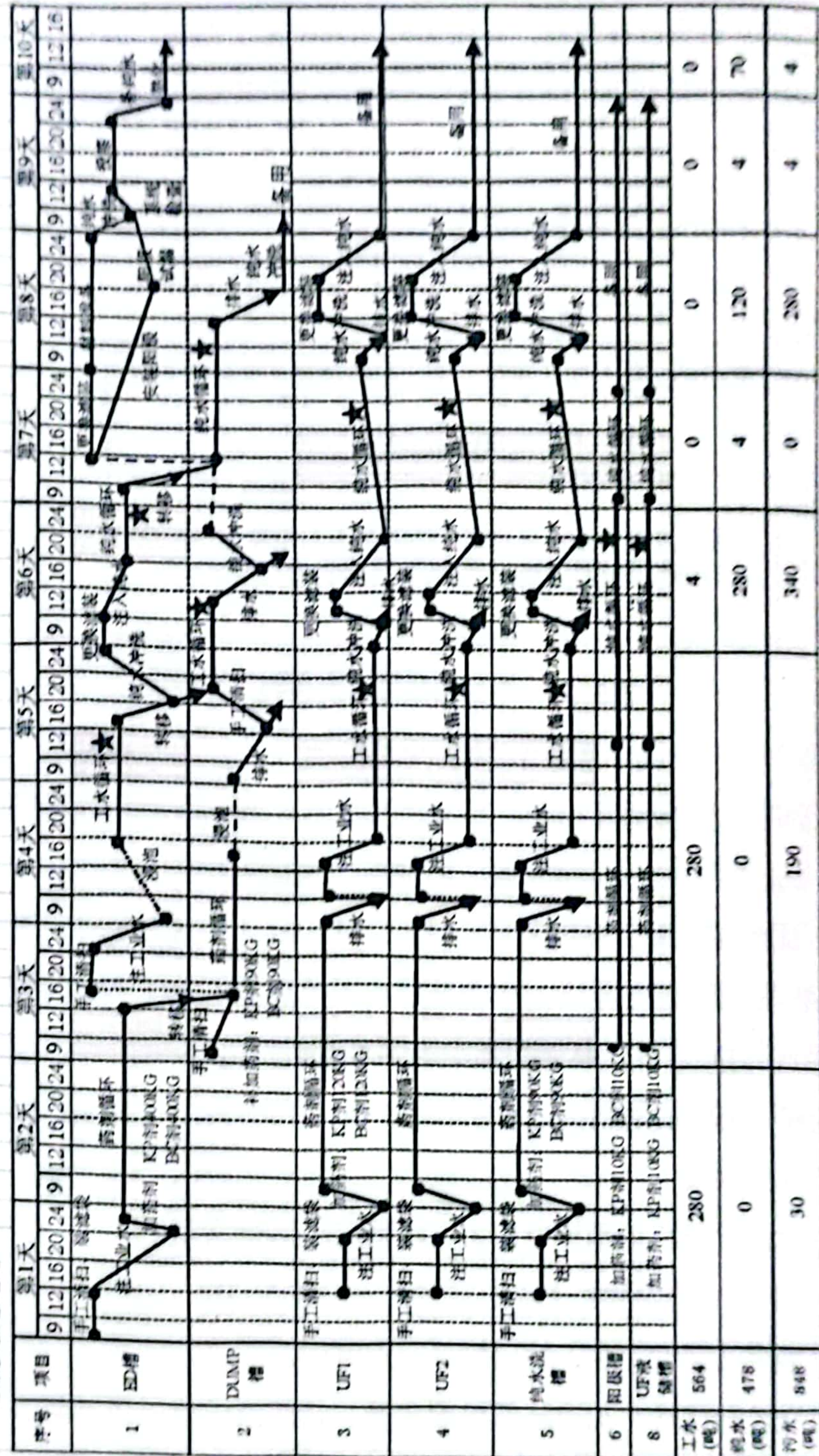


图6-23 汽车厂大型电泳涂装设备清洗的过程

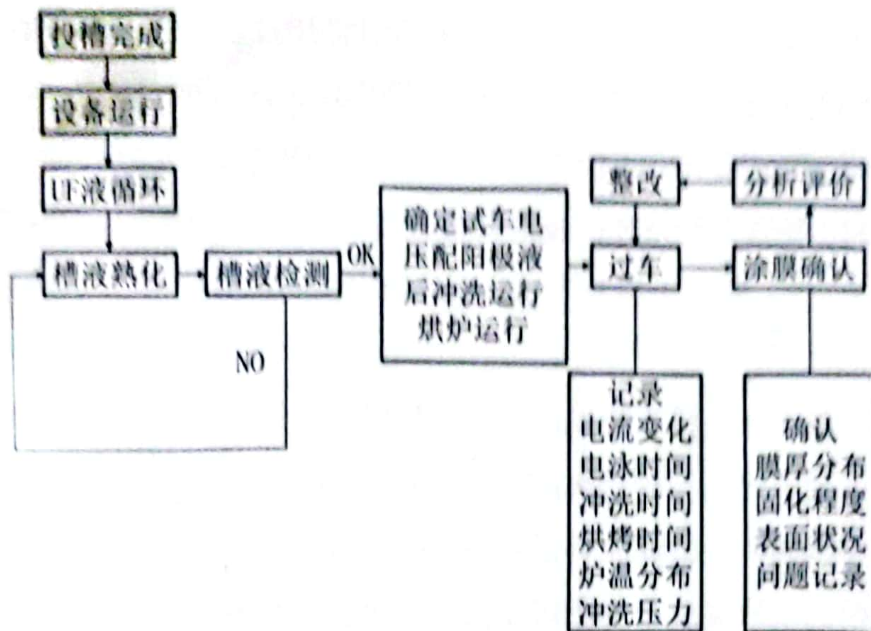


图5-24　投槽后调试方案

二、电泳槽的维护

要获得好的电泳涂装结果就需要对电泳槽液、循环系统、温度控制设备和电力元件做好维护。在电泳工艺运行中，它们会不断地发生变化。槽液中的物质会由于成膜、蒸发和清洗超滤设备或电泳槽而损失。需要补槽使这些物质保持平衡，从而保证预期的电泳效果。必须详细地检测各种参数，做好检测记录。

1）每班测定涂料固体含量、pH值、颜料对基料的比例和电导率。

2）电泳槽的温度。

3）各泵的流体压力。

4）变压器的电压。

5）检查过滤袋入口和出口处的压力，必要时作更换。

6）检查超滤器入口和出口处的压力及流量，必要时作清洗或更换。

7）检查槽液液位。

8）每周取样送涂料供应商做试验。

CamScanner

9）维持50：50的副槽上和入口端过滤比，以避免表面污染。

10）在需要时定期取出并更换过滤网。

11）至少使用一个除油滤袋。

12）检测阳极液槽的电导和液位高低。

三、电泳漆换型

随着电泳涂料不断发展，如质量提高或烘干温度降低，在原有的电泳槽中提高涂料档次或处理问题槽液时需要更换新型涂料，在同一系统的阴极电泳涂料进行更新时，可以采用过渡性的混槽。不同系统的电泳漆混合会出现不混溶现象，笔者就曾经处理过不同体系的阴极电泳漆混槽的问题。由于两种电泳漆为欧洲体系和日本体系，工作槽液pH值相差较大，混合后不溶性颗粒较多，最后采用更换系统中比较原始的产品（pH值相差较小的产品）进行更换，两个更新期后再在同系统中更换先进的产品，耗时更长且对生产有着大的危险。因此不同系统的阴极电泳涂料混用要相当慎重。

1. 更换步骤

在更换新型涂料时先应对原槽液参数进行确认并在试验室进行混合试验并拟定置换方案。

在更换之前可先对槽液进行倒槽处理，用排放UF液的方式减少槽液量，并对后冲洗各槽液进行更新，补加中和剂和补给溶剂调整参数到工艺范围。在确认各种准备工作完成后开始实施。实际更换时可先一次大量添加新型涂料，后采用逐步加入新型涂料不断置换的方式。

2. 换型更新周期、置换率计算

更新周期（T.O.）= 累加补漆总量 ÷ 初配电泳槽液原漆总量（时间）

图5-25槽液更新和置换进程关系说明，当补加的电泳漆达到配

CS CamScanner

槽液原漆总量时，实际配槽时加入槽中的电泳漆只有63%被替换，还有37%首次投槽的电泳漆仍留在槽液中。当第二个更新期后仍有13%首次投槽的电泳漆仍留在槽中。因此，假如用温度160℃的电泳漆去替换180℃的电泳漆时，不可能投入160℃的电泳漆初期就降低烘干温度，而是根据不同的代替率逐渐地降低烘干温度。

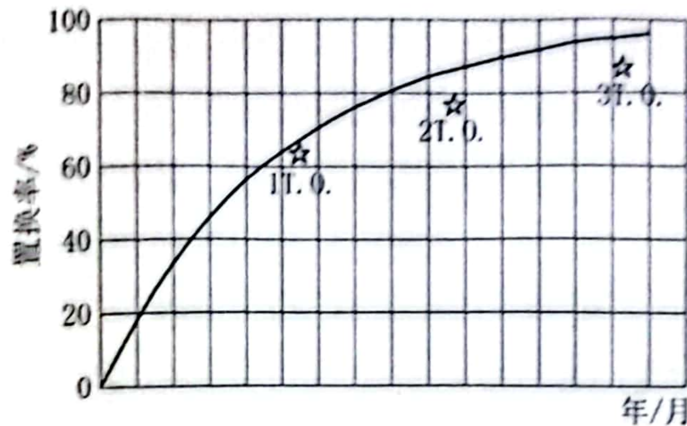


图5-25 槽液更新和置换进程关系



涂装工件的运输方式及设备

由于涂装前处理、电泳线的特点，大量的浸喷工序，适用于前处理电泳涂装的运输设备有其独特的要求。各国汽车企业为满足汽车产量质量提升、环保要求及降低成本，不断的设计和使用新型涂装设备。

第一节　涂装工件的运输

一、涂装生产中机械化运输设备的作用

1）在整个涂装生产系统中起着组织与协调作用。

2）完成输送被涂物、转挂、储存任务。

3）实现涂装各工艺要求，如按工艺程序动作、升降、变节距、变速、摆动等。

4）识别被涂物的类型、色种，识别废品，自动计数，根据给定的指令来进行生产。

CamScanner

二、涂装线的输送方式

在高度机械化的涂装车间里，输送设备是涂装生产的动脉，它不仅完成物料（被涂工件）的输送与贮存的任务，同时还满足产品涂装工艺的要求，它能把涂装工艺过程的所有工序建立起顺利的连接关系，使涂装作业达到省力化、自动化、管理科学化，在复杂的整个生产体系中起到组织和协调作用（此作用由机械化输送的中控部分来完成）。涂装工厂用的输送设备包括各种输送机、起重装置、传送挂具及小车等。

1. 输送线的种类和特征

涂装工厂常用的输送设备，在实际使用中可按生产规模、被涂物的形状大小及涂装工艺要求进行选择（见表6-1）。

表6-1　涂装工厂常用的输送设备

分类	名称	特征
悬挂式输送链	普通悬挂输送链	动力消耗少，维修方便，对各种形状的制品均可采用不同的挂具输送。因吊挂链节是固定的，所以自由度较推杆式输送链少，适用于较小的零部件涂装输送
	推杆式悬挂输送链	由牵引轨道和承载轨道组合而成，能够自由地进行分叉、传递、汇合及贮存等，可使载荷物垂直上下升降
	升降机	与悬挂式输送链并用，完成与地面输送链的连接及上件和下件的任务
	摆杆输送链	由工艺槽两边的输送链共同带动的摆杆承担运载任务，适用于滑撬输送的汽车车身等较大型的涂装物的输送，其优点是输送链在槽两侧，不存在输送链污物掉到工件上，其入槽角度可以达到45°
	滚浸输送机械	滚浸输送机由槽两侧的牵引链及槽边的导轨及翻转承载机械组成，被涂工件可垂直进入槽中并翻转，尤其适用于汽车车身等平面涂装要求很高并带有气室结构的工件输送

CamScanner

续表

分类	名称	特征
地面输送链（安装在地面上）	台车输送链	由轨道和牵引链组成，通过输送链上的拨杆与台车接触，带动台车前进，被涂工件装载在台车上
	滚子输送链	在链条上装有滚子，在限定器的控制下可自由贮放工件
	地面推杆输送链	与悬挂式推杆链类似，链条装在地面上或地沟内，推动负载物能自由地分开、汇合与贮存
起重输送装置	转运车	与台车式输送并用，实现线与线之间过渡
	自行电葫芦	由计算机程序控制的自动行走及升降的电葫芦
	穿梭机输送装置	与自行电葫芦相似，有两条轨道，由两个行走机械的连杆承载，并完成翻转浸渍的工序，可垂直起降，工艺浸槽的体积更小
	门式行走机械	与自行葫芦类似，设计成门吊形式，可以按计算机程序控制，前后行走及升降，完成涂装的输送任务
	单轨起重机（手动）	由电动葫芦和单轨组成，可设计成直线或环道
附属装置	梁式吊车	可作为纵向或横向输送的起吊装置
	吊架	吊架上可以装挂几个挂具，用来装挂不同大小的工件，组成一个大的组合吊架，用于涂装
	安全网	用于悬挂输送链下部，防止吊件落下伤人
	台车	承载被涂物，与台车输送链配合

2. 选择输送机的要点

输送设备贯穿整个涂装线，因工序不同其工作环境相差甚大，同时涂装线的产量大小等都是选择输送机时要考虑的。因脱脂、磷化、电泳工序的工艺时间为3min，加上行走、上下等时间，凡在输送节拍5min以上的输送任务都可以选用起重输送装置（手动电葫芦、自行葫芦或门式输送机），如果在脱脂、磷化、电泳等工序设

CamScanner

置双倍涂装体积的槽体（即双工位），起重输送装置的涂装产量还可以增加一倍。

当涂装线产量较大，需要装挂在挂具上并由悬挂式输送设备来完成。一般情况下悬挂式输送链的链速度应在2m/min以上，当输送链速太低时，工序间工件沥液的时间（特别在浸槽的坡段）太长，工件易生锈。因此在这种情况下使用悬挂式输送链，需要在工序间设有喷湿装置，以保证工件表面的湿润状态，避免工序间的锈蚀。

三、输送设备设计

1. 涂装线的生产能力

在进行涂装线的设计以前，首先应确定涂装线的生产能力，生产能力确定过小，满足不了生产的要求，生产能力过大，将使涂装生产线投资增加，能源等的消耗也增大，涂装线的生产能力除与生产线的设计有关外，还与年工作天数、班次、设备开动率等有关，这在设计前就要确定好涂装线的工作年时基数，最好以两班制为前提，产量再大时加第三班，这种方式能源、材料消耗最小。

2. 涂装零件的装挂方式确定

在涂装零件和生产量确定以后，要确定涂装零件的装挂方式，它决定涂装线设备采用何种结构。装挂方式首先找出最大尺寸的涂装零件，然后确定每个挂具装挂几个这种零件，最后确定涂装线的通过最大尺寸，其他零件通过通用的挂具，装挂在通过最大尺寸的范围内。通过一个个零件模拟装挂的挂具数之和算出全年通过涂装线的挂具总数。

3. 涂装线的输送方式确定

一般生产批量小，工件比较大的场合，当涂装零件装挂后数量少于4万挂/年时，多采用间歇式的方式，采用人工电葫芦、自行葫芦，其决定因素由工艺时间所确定，即挂件从上一道工序移动至下

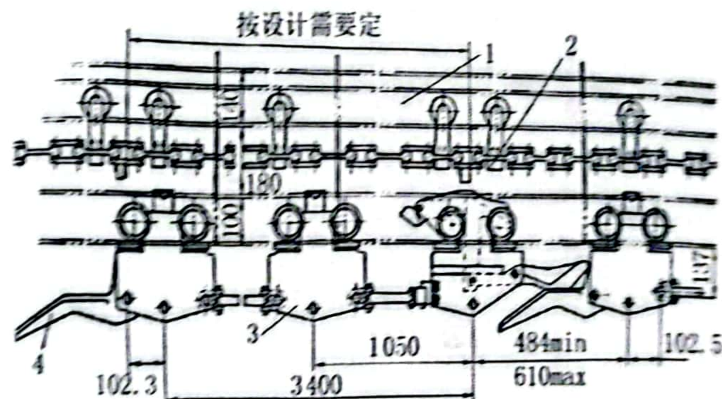
悬挂输送系统。在汽车行业适用于年产10～30万辆汽车车身的大型涂装线。在前处理电泳涂装线中，可按工艺节拍运行，也可变节距运用。积放式悬挂输送机（图6-2）种类较多，但运行原理是相同的，只是其推杆（图6-3）和积放小车不同、道岔过渡形式不同。现在国内采用的是宽推杆积放式悬挂输送机，其推杆较原推杆宽2～3倍，前小车升降爪比原升降爪宽4～5倍，从而实现了一次性道岔过渡，使小车的二次传递简化为一次传递。积放式悬挂输送机（图6-4）优点有以下几点：

1）可以实现装卸料的自动化。

2）在非工艺时间可以实现快速运输、积放储存。

3）在涂装过程中可以按工艺节拍程序运行。

4）可以变节距储存、运输。



1. 轨道；2. 输送链；3. 推杆小车；4. 推爪

图6-2　JF500型积放式悬挂输送机

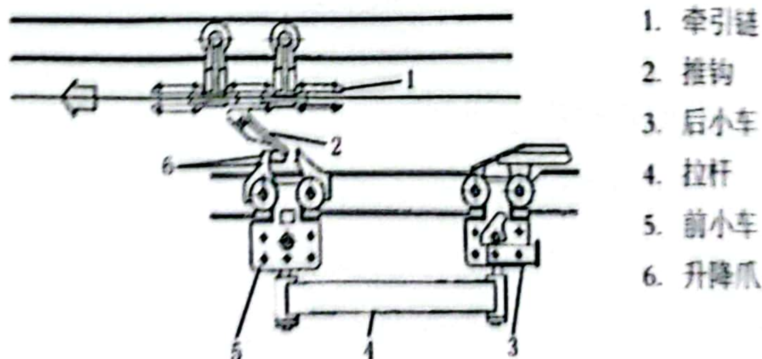
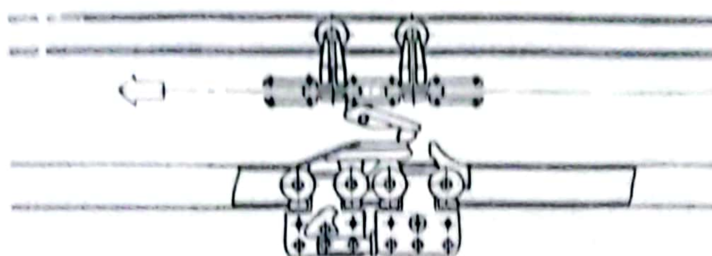
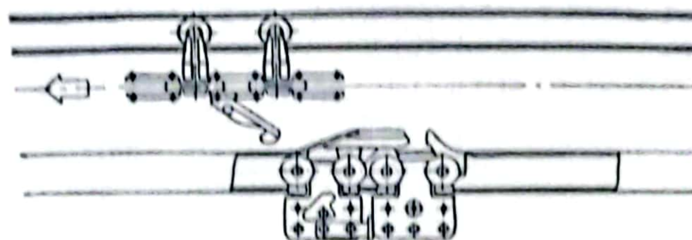


图6-3　推杆悬链运行



a) 载荷小车组正处在积放位置



b) 载荷小车组处在正常的积放情况

图6-4　NKC型积放式悬挂输送机原理

第三节　自行电葫芦及程控行车

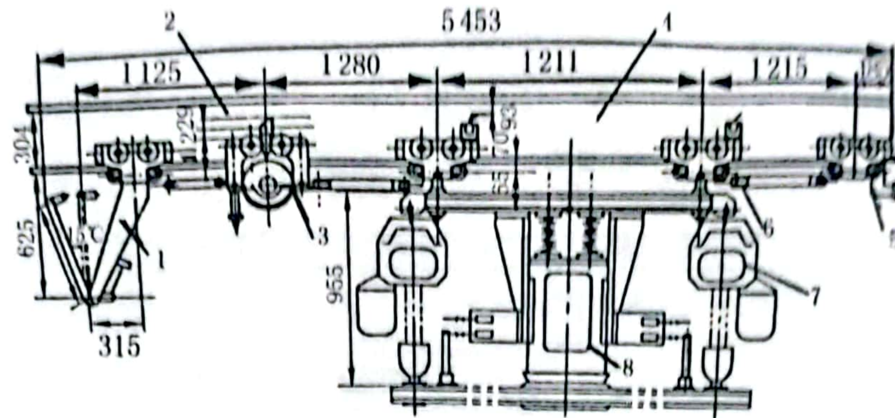
由计算机程序控制的自动行走及升降的电葫芦。程控行车与自行葫芦类似，设计成门吊形式，可以按计算机程序控制，前后行走及升降，完成涂装的输送任务。

一、自行电葫芦

1）（图6-5）由前小车、主动小车、后小车、连杆、环链葫芦、导向装置组成，滑触线布置在轨道的侧面。

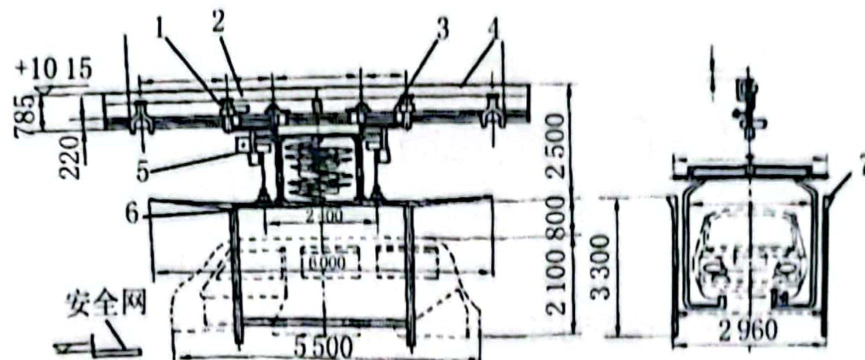
2）生产节拍在5min/台以上，可以采用这种间歇式输送方式（图6-6）。在前处理脱脂、磷化槽和电泳槽由单工位变为双工位，使用范围可以提高到3min/台。

3）它采用微机内认址方式，靠小车自身识别操作信号，能自动、准确、可靠地实现输送以及上升、下降、摇摆等各种动作（图6-7）。



1．前小车；2．滑触线；3．主动小车；4．H型钢轨道；5．后小车；6．连杆；7．环链葫芦；8．导向定位装置

图6-5 自行电葫芦



1．上横梁；2．铝合金轨道；3．四车型载荷小车组；4．减速电机；5．电动环链葫芦；6．车身吊机；7．导向装置

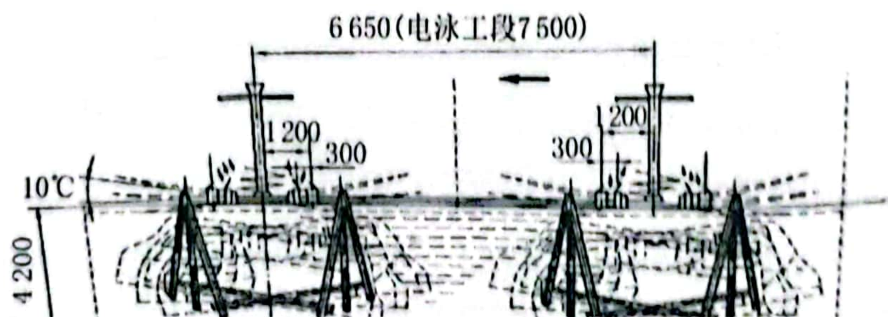


图6-6 自行电葫芦吊挂运输方式

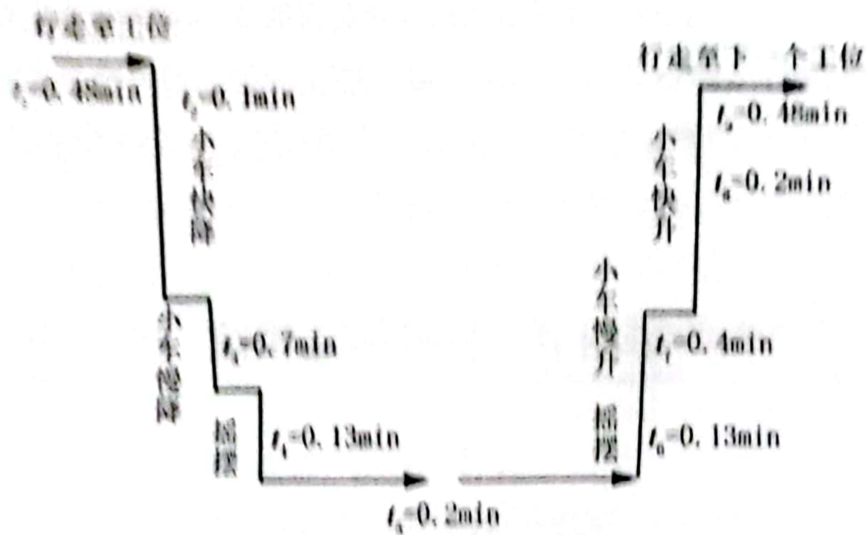


图6-7 自行电葫芦工艺自动顺序

二、龙门式程控行车

龙门式程控行车输送机（图6-8），多用于产量低而尺寸又很大的工件，如汽车车架。可将3个车架装在一个框架上，进行前处理、电泳，槽体可横排。

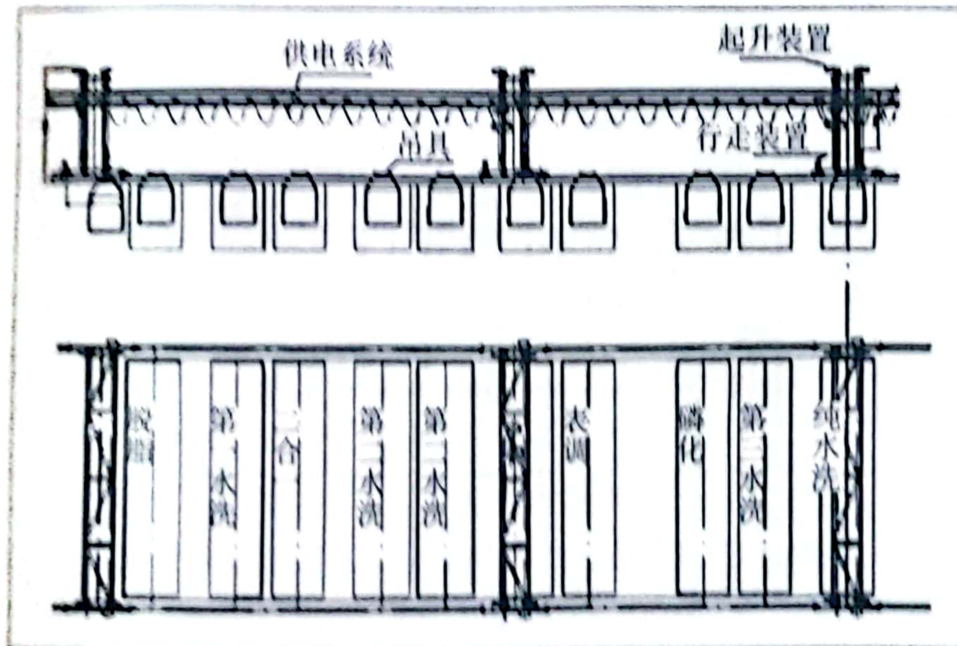


图6-8 车架涂装线应用的龙门式程控行车

龙门行车输送机由行走机构及升降装置组成，也可自动控制。

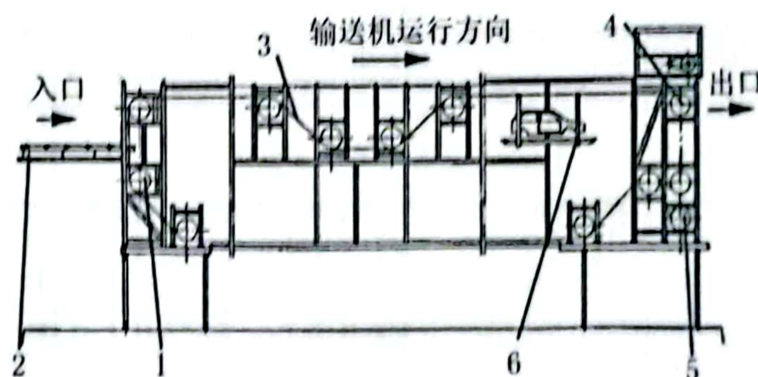
龙门行车的台数可根据生产量来确定。如车架的产量为36件/h，而3件/挂，则选用3台龙门行车，车架自动接力式向前运行。

第四节　摆杆输送系统

摆杆输送机用于代替自行葫芦、积放式推杆输送。其由两条同步运行的链条及“U”型摆杆组成。出入槽角度可达45°，输送机构位于槽体两侧，具有自动装卸功能，适用于大批量全自动生产线。图6-9为摆杆输送机总图。

摆杆输送机的主要组成：驱动装置、张紧装置、回转轮、链条、轨道、前后摆杆。驱动站采用上置式履带输送，结构紧凑，传动平稳，链条磨损小，为摆杆提供动力。张紧装置平衡链条形变。前后摆杆搭载车身进入前处理线。

摆杆输送机可代替积放式悬挂输送机，但设备造价较高。在高质量要求的轿车前处理电泳线中采用。



1. 回转链轮装置；2. 入口处滚床；3. 链条轨道及回转链轮；

4. 传动装置总成；5. 拉紧链轮；6. 前、后摆杆

图6-9　摆杆输送机总图

CamScanner

优点：摆杆输送机的入、出槽角度能够达到45°，这种输送方式减少了前处理、电泳线的长度，节省槽体占地面积，节约制造成本；摆杆输送的轨道位于槽体的两侧，链条磨损掉落的油污及杂质不会掉入槽液内污染车身及槽液，提高车身质量。同时此种结构减少了槽液雾气对链条及轨道的腐蚀，提高设备的使用寿命。轨道在槽体外侧，采用垂直方式循环，便于设备的日常点检及清理维护。

缺点：气室有所改善，但不能消除。

第五节　全旋反向输送机（Ro-DIP输送机）

全旋反向输送机（图6-10）是德国杜尔公司的专利技术，顾名思义，它可使车身入槽时旋转180°，车身底部向上，尾部在前反向前进，再旋转180°后出槽。输送机的道轨和承载牵引链在一条直线上，链条上安装有滑橇支撑托架支座，用锁紧机构锁紧。此种输送机工艺性能好，车身在电泳后反转360°，可排出车身底部的气泡，提高涂层质量。电泳槽为矩形，缩小了槽体，减少了投漆量，降低了运行费用，输送长度缩短（图6-11）。这种输送机适于大批量、单品种的轿车车身的前处理电泳涂装线。在国外早已采用，国内也有几条车身涂装线在应用。

全旋反向输送机的特点是：

1）全旋反向输送机上的轨道和链条为一直线，制造和安装简单。

2）链条上安装可自由翻转的滑橇支承托架支座，用于放置滑橇和工件并锁紧。

3）车体和滑橇是依靠导向滚子在特定轨道上行走实现车体的翻转。

4）输送机工艺性能好，长度短，设备也短，节省投资，运行费用低，特别适用于单品种大批量生产。

5）对多品种车身涂装锁紧装置复杂，因滑橇锁紧装置故障可能引起车体掉入槽中。在运用中必须解决这一问题。

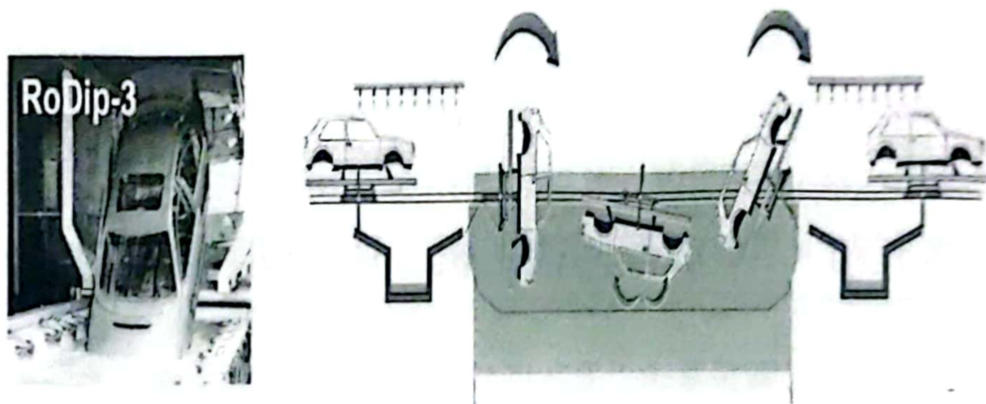
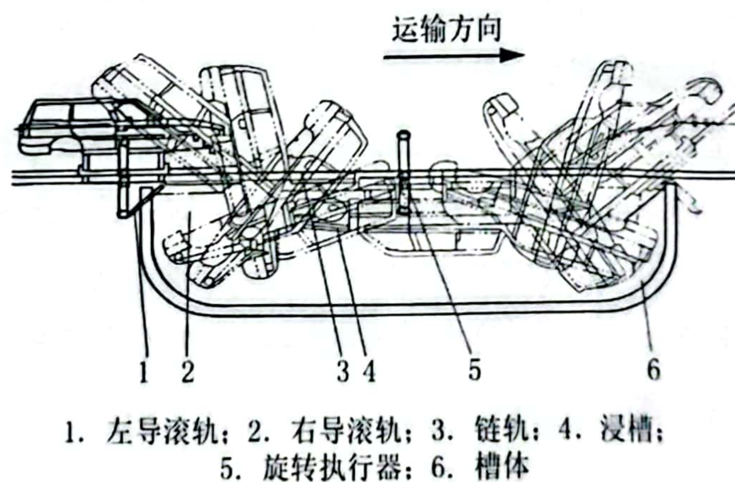


图6-10　全旋反向输送机



1. 左导滚轨；2. 右导滚轨；3. 链轨；4. 浸槽；
5. 旋转执行器；6. 槽体

图6-11　全旋反向输送机工作原理

第六节　多功能穿梭输送机

汽车车身涂装工艺在不断创新，提高涂装质量，提高材料利用率，降低涂装成本，采用有利于环境的新设备，是汽车涂装工艺发展的目标。由于整体涂装技术要求的提高，对前处理、电泳工艺及输送设备有了更高的要求，德国埃斯曼公司的专利技术多功能穿梭机输送设备在汽车涂装前处理和电泳工艺过程中的应用是近年来的一个突破，与传统输送设备相比，充分地体现了它的优越性，它是一种新型的前处理、电泳机械化运输方式，可以满足多种产品的混流生产，在满足材料和处理工艺的情况下，空间得到合理地利用。多功能穿梭机由行走机构、大臂举升机构、小臂旋转机构组成。行走机构控制穿梭机行进方向的速度、加速度；大臂举升机构最大角可达±53°，控制车身的入出槽；小臂旋转机构可旋转最大角度±359°，实现车体在运行中的摆动。

优点：可根据不同车型分别优化浸入角度，在槽中停止前进，可根据磷化、电泳槽中停留工位数决定产能；可实现90°入槽，处理时可使用不同的速度，节省槽体的长度；可根据需要控制缩短或延长车体间距；运行过程中可实现车体摆动，提高车体沥液效果；工件可根据需要以任意角度运行；在浸洗槽内可实现359°翻转，排出封闭气体，提高车身质量；轨道位于槽体两侧室体外，室体内气体对轨道及驱动无腐蚀。

多功能穿梭机系统（图6-12）的特点是：

1）可根据不同的车型变化浸入角度、翻转方式和前进速度来满足最佳处理方式。

2）设备可大大缩短。

3）多功能穿梭机是分别独立的输送设备，相当于双轨的自行葫芦。由3个驱动装置来完成行走驱动、摆动驱动和旋转驱动（图6-13）。

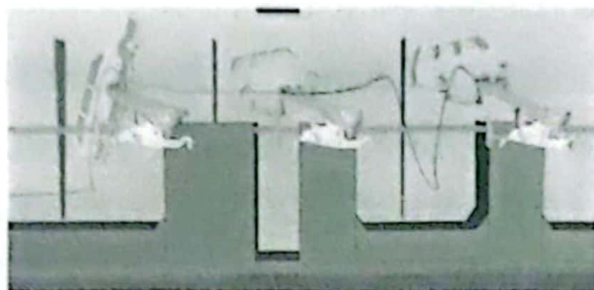


图6-12　多功能穿梭机系统联动模拟效果

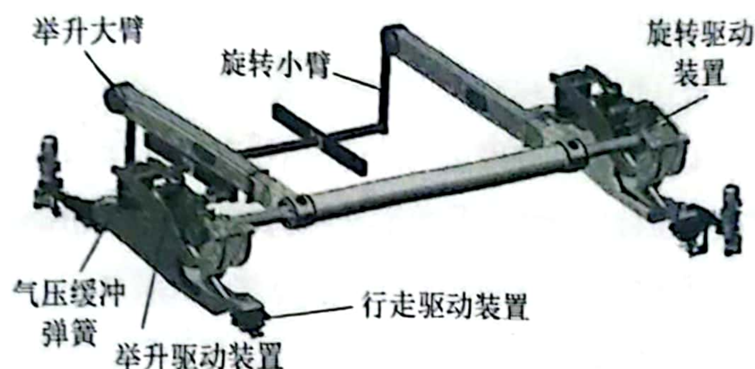


图6-13　多功能穿梭机结构示意

图6-14是一种新型的多功能穿梭机结构，由原来的双轨自行葫芦的型式改成单轨型式，其入槽的方式进行了很大的改进，采取以垂直上下的形式进入槽中，其上下翻转的方式如图6-15。

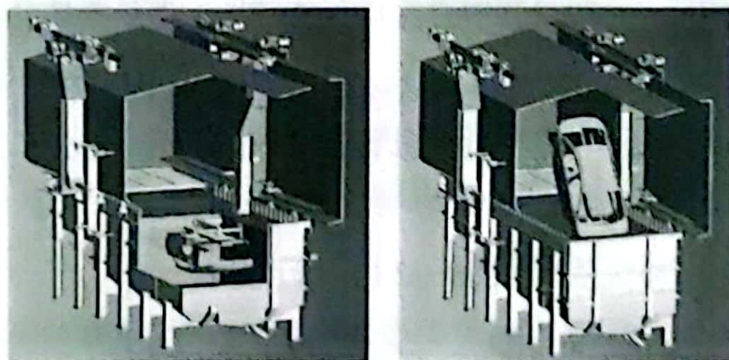


图6-14　改进的多功能穿梭机系统联动模拟效果

CamScanner



图6-15　改进的多功能穿梭机系统上下翻转示意



图6-16　几种运输系统入槽方式对比

第七节　运输设备应用

一、前处理电泳工序

运输设备贯穿整个涂装线，因工序不同其工作环境相差甚大，同时涂装线的产量大小等都是选择运输机时要考虑的，因脱脂磷化、电泳工序的工艺时间为3min.加上行走、上下等时间，凡在运输

节拍5min以上的输送任务都可以选用起重运输装置，如果在脱脂、磷化、电泳等工序设置双倍涂装体积的槽体，起重运输装置的涂装产量，还可以增加一倍。

前处理及电泳部分：此段工序的输送机工作环境最差，特别是带有封闭式的场合，要充分考虑输送机的防水防腐措施，还要考虑蒸汽不要溢入车间，此处输送链除考虑水封外，挂具多采用C型钩，在生产节拍较长的情况下（>5min）一般采用自行电葫芦或步进式门式输送方式，而生产节拍<5 min的大批量生产线，则要采用连续式输送方式，如普通悬挂链、推杆悬链、摆杆链、滚浸装置及穿梭机等。当工件大小差别比较悬殊的情况下，如能满足生产量的要求，可采用吊挂的方式，以最大件为标准，组装成一个大吊架具，其他小件用挂具装挂后挂到吊架内，使用电葫芦吊挂能够节能和简化生产。

当涂装线产量较大，需要装挂在挂具上并由悬挂式运输设备来完成，一般情况下，悬挂式运输链的链速度应在2m/min以上，当运输链速太低时，工序间的时间（特别在浸槽）太长，工件易生锈。如此时还要使用悬挂式运输链，在工序间要有喷湿装置（表6–2）。

表6–2 前处理、电泳输送设备特性对比

特点	普链	推杆链	摆杆链	全旋反向输送机	多功能穿梭机
工艺平面布置	前处理电泳采用一套系统	前处理电泳采用各自的循环系统	前处理电泳采用各自的循环系统	前处理电泳采用各自的循环系统	可以选择单环或双环设计，其中单环布局为最经济的方案
工艺槽与室体规格	采用船形槽，槽体体积最大	同普链	采用船形槽	采用方形槽；工件两侧无机械化部件，槽体宽度能做到最小	采用方形槽；工件两侧有机械化部件，槽体较全旋反向输送机略大

续表

特点	普链	推杆链	摆杆链	全旋反向输送机	多功能穿梭机
机械化柔韧性	固定	固定	固定	固定	可根据车型调整各工序的行进曲线，减轻或消除设计弊端
入出槽角度	30°	30°	45°	90°	90°
车身质量	被涂物表面易被链条上的油污污染；如槽角度小，局部位置处理不完全；L效果明显	同普链	入槽角度提升，气室现象改善，但不能消除；L效果不良明显	可实现0～360°旋转，消除气室；槽体内车身倒置，消除不良L效果	可实现0～359°旋转，可消除气室；槽内运行可实现翻转，消除不良L效果
轨道腐蚀	轨道位于室体内部，且轨道在室体中央，设备腐蚀严重	同普链	轨道位于室体内部，且轨道在室体两侧，设备腐蚀状况改善	轨道位于室体内部，且轨道在室体两侧，设备腐蚀状况改善	轨道位于室体外部，轨道无腐蚀
设备维护	维护简单，轨道转弯处易磨损。因滚轮承载重量，滚轮易损坏	维护费用低，但由于设备位于槽体内部中间，不便于维护	维护费用较低，轨道位于槽体两侧，方便维护	轨道和链条（板式链条）为内-直线，制造、安装简单，翻转机构为机械方式，维护方便。	每个穿梭机上设置6台电机、电控箱及气密封装置，运动部件多结构最复杂，对维护要求高

二、烘干工序

工件刚进入烘干室时，由于工件本身温度很低，又因钢铁的导热性强，则必然要较快地吸收热量，以达到与烘干室内的工艺温度平衡。故在大型的烘干室内应设升温区。工件经过升温区后，进入涂膜烘干所需的温度，并保持其固化时间，此区称保温区。

工件在升温区的持续时间对薄壁钢板件如汽车车身一般是7～10min，温度可比保温区高10℃左右。总的烘干时间为30min。对于厚钢板件如汽车车架、汽车钢圈，其升温的时间应为7～15min，总的烘干时间为40min。在升温区与保温区供给的热量是不同的，在大型烘干室中，其加热装置及热风循环系统应分开设置为好。

烘干室内的输送链有悬挂链及地面链两种，在使用悬挂式输送链时，要考虑防止灰尘、油滴、水滴等落下而污染工件表面的措施。烘干室内大多采用地面式输送链，以克服悬挂式输送链的缺点。由于烘干室内温度都较高，因此要考虑热胀冷缩的因素，必须有张紧站。当箱式烘干室较短时，仅用地面轨道，人工控制也可。

三、电控装置

1）当几个设备相互依赖共同实现一个功能时，控制系统合而为一。

2）在划分机械化系统时，应使系统之间的连锁信号尽可能少。

3）同一类产品尽可能采用同一品牌中同一平台的型号和规格。

4）选型时应以经济适用为原则，减少不必要的功能。

5）当系统有自动要求时，应设自动与手动两种。

6）非标设备控制系统应设紧急停止功能，但此停止开关应不能随意启动。

CamScanner

7）由于前处理、电泳、喷漆室设备电机较多，为简便操作，一般要有自动顺序启停功能。

8）电泳直流电源、烘干室加热系统应与运输系统连锁，在输送系统故障时采取相应措施。

9）电泳设备槽体、升降设备四周应设光栅开关以保护人身安全。

10）在设计电控系统时应参照有关的标准。

四、全车间输送系统设计与使用管理

涂装车间工序较多，考虑到生产组织与管理的因素，在设计车间输送系统时，应注意以下几点：

1）各工序的工作条件对输送机的不利影响及相应的保护措施，如输送链在封闭室外并有吹风封闭措施，喷射处理注意喷射角度，处理液不要喷到输送链上等。

2）输送机对各工序的不利影响及相应的保护措施，如防止输送链滴油滴水，输送链采用C型钩。最新的输送链采用在工艺槽两侧行走。

3）生产纲领、工件形状及不同工序对输送链、链速、节距的要求。如输送机链速度在一定范围内可调，以使在生产量大时可以提高链速（相应地需提高烘干温度或加长烘干设备以保证工件的干燥程度及适当地提高电泳电压以弥补因减少电泳时间对漆膜质量的影响）。为防止兜水或气泡，设计输送轨道驼峰结构；输送链节距（挂钩间距）设计成既满足小零件挂具要求，在挂大件时，可间隔一个挂钩装挂，这样最大限度利用输送链的输送效率。

4）工序缓冲、贮存、转挂的要求。车间总图设计时要考虑对卸件、装挂及白件、成品件贮存地的预留，挂具台车的转运，自行电葫芦在停产时的贮存（不能停在设备内）等。

CamScanner

5）与某些设备的控制连锁等质量保证功能。如输送链因事故停止时，前处理设备的喷湿，电泳槽保持最低电泳电压，烘干室内加热器、燃油加热器可以自动降负荷等。

6）在保证输送要求的前提下，尽可能减少中间转挂环节及整个涂装线使用的挂具种类，挂具设计成通用性好的。

输送链只设计极少数的应急事故停止按钮，在生产过程中不允许随意停止任何一条输送链，因为涂装车间的各条输送链组成了一个整体，随意停链使涂装生产无法正常进行，给生产管理带来混乱，对此应严加管理。

1）应由经过专业培训的人员专门管理输送设备。

2）严格执行输送设备生产厂家规定的操作规程及使用维护说明书。

3）应根据使用情况制定输送设备小修、中修、大修计划，并认真详细地填写维修记录。

4）负责输送机维修保养人员应掌握设备结构特点、熟悉设备性能和控制原理。

5）加强设备的预防性维护，系统地检查、保养设备，使之处于正常工作状态，可以早期发现设备的小毛病并及时加以处理，避免这些小毛病酿成大患而造成必须大修或更换主要零部件的后果。

6）为能使设备经常地处于正常的工作状态，应认真地填写《设备维修保养日志》（见表6-3）。如果能认真、及时、正确地填写此表，将会得到一份有价值的设备运行、保养、维修档案，可以不断地积累经验，使各零部件能经常处于良好的工作状态，减少维修时间和维修费用，保证整个系统正常运行。

表6-3　设备维护保养日志

输送机编号	日　期	事故现象	维修方式	事故原因	操作者

7）对各输送设备应定期润滑，润滑方式、润滑周期、润滑油脂均按生产厂家的规定执行。表6-4是积放悬链的润滑情况，供参考。

表6-4　输送机润滑

设备名称	零部件名称	润滑方式	润滑周期	建议用的润滑剂
驱动装置	电机		见电机铭牌	
	减速机	人工润滑	180天	50#机械油
	链轮	油嘴滴油	30天	20#～30#机械油
	驱动链条和驱动爪	人工刷油	30天	20#～30#机械油
	张紧螺杆	人工除尘、涂油	30天	20#～30#机械油
	滚子列	油嘴滴油	30天	ZG-2钙基润滑脂
	张紧轴承	人工润滑	30天	ZG-2钙基润滑脂
	张紧轴	人工润滑	30天	ZG-2钙基润滑脂
	支承轨	人工润滑	30天	20#～30#机械油
张紧装置	伸缩接头	人工润滑	30天	20#～30#机械油
	光轮轴承	油嘴滴油	30天	ZG-2钙基润滑脂
	滑轮	油嘴滴油	30天	ZG-2钙基润滑脂
	移动支架导轮	油嘴滴油	30天	ZG-2钙基润滑脂
输送机链条	链条	自动润滑装置	按需要用户自定润滑周期	BLB-200/300高温链条油（台湾）
	链支撑小车	油嘴滴油	30天	亚米茄85润滑脂

续表

设备名称	零部件名称	润滑方式	润滑周期	[illegible]
回转装置	光轮	油嘴滴油	30天	ZG-2钙基润滑脂
	滚子	油嘴滴油	30天	ZG-2钙基润滑脂
积放小车	小车轮	油嘴滴油	30天	亚米茄85润滑脂
	导轮	油嘴滴油	30天	亚米茄85润滑脂
	升降爪	直接在滑动面和旋转轴处加油	30天	BLB-200/300高温链条油（台湾）
道岔	道岔舌轴承	油嘴滴油	30天	ZG-2钙基润滑脂
止退器、上坡捕捉器	转轴	直接往转轴处注油	30天	20#～30#机械油
停止器	导轮	油嘴滴油	30天	ZG-2钙基润滑脂
升降机	减速机	人工润滑	180天	50#机械油
	链条	人工润滑		20#～30#机械油
	导向轮	人工润滑	30天	ZG-2钙基润滑脂
推车机	减速机	人工润滑	180天	50#机械油
	链条	人工润滑	30天	20#～30#机械油
	轴承座	人工润滑	30天	ZG-2钙基润滑脂



第七章 电泳烘干设备

第一节 漆膜的固化

电泳漆膜的固化是涂料供应商所决定的时间和温度的一个函数，它随涂料和基材的性质不同而改变。典型的烘干炉固化周期为20～30min。在这个周期中，要使基材达到所要求的温度并保持一定的时间，使涂膜中的所有水分蒸发并使涂膜发生交联固化。

一、加热方式

在涂装作业线中，烘干室的加热方式有两种：辐射与热风对流。

1）辐射加热。是远红外线或高红外线等从热源辐射过来呈电磁波辐射到被加热物体内部，使其吸收而转换为热能。这种方式加温速度快、热效率高，与被加热物体的距离有很大关系，其热能与被加热物体的距离的平方成反比。这种加热方式适于小件或形状简

单的平板物体。对大件或形状复杂的物件，会造成加热温度极大的不均匀。致使被加热工件的涂膜，有的地方不干，有的地方会因过烘而变色。

2）热风对流加热，是以热空气为媒介对物体的涂膜进行加热。这是涂装烘干的主要加热方式，加热温度均匀（上下温差最大为±10℃）。

以上两种加热方式各有利弊，可以相互取长补短。例如，可在烘干室加热升温段部分采取辐射加热，而在保温段采取对流加热。在固化炉的入口处设置辐射区，这里循环风速小些，空气中灰尘少，可以使涂层固化表面的黏度降低时不易受污染物的玷污。这样既可以节省部分热量，又可加快涂膜的表干，以防灰尘落入，影响涂膜质量。

在电泳漆和水性漆烘干过程中，也可以设置一个脱水区，这种脱水区就是一个加热的通道，工件在其中100～150℃温度下加热2～3min，脱水区设置在固化炉的入口处。

用于涂装烘干的热源很多，常见的有天然气、煤气、煤油、电及煤等。

在涂装工艺中，烘干工艺占很主要的位置，烘干室的性能好坏，直接影响到产品的性能及其商品价值，在设计和选用烘干室时应考虑下列各点：

1）在烘干质量方面：应满足涂料烘干温度——时间曲线，被烘干物的温度分布均匀，烘干室内清洁无尘，烘干室顶部无分解物冷凝。

2）在节省能源方面：有适当的能源回收装置，炉门设计要合理，烘干室对外有绝热措施。

3）在符合法规方面：能防爆，排出废气有处理装置。

4）在维护方面：易清洗，可拆卸，易更换，内部壁板平直无积灰死角。

CamScanner

涂膜的烘干。是指靠加热使涂膜固化。涂膜的烘干规范（即烘干温度和时间）取决于被烘干的涂料类型、被涂物的材质。烘干时间包括工件升温时间和保温时间。涂料的烘干规范一般指达到烘干温度后的保温时间（见图7-1）。

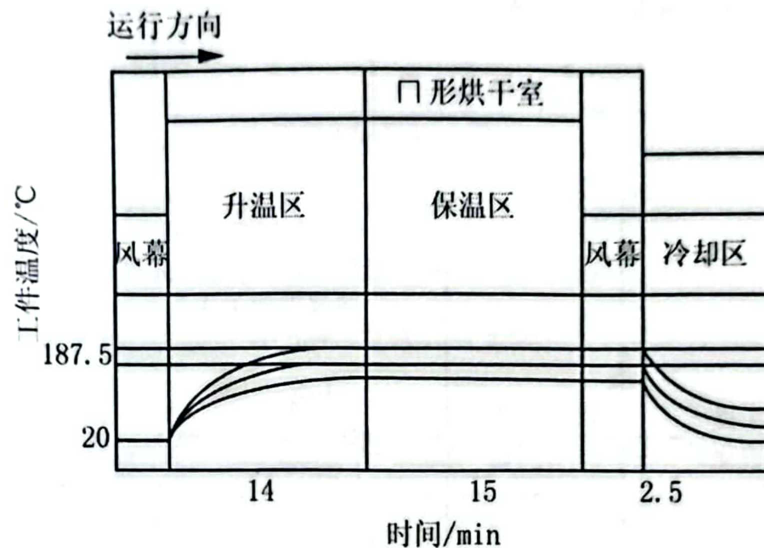


图7-1 电泳漆烘干室的工件温度与时间变化过程曲线

对指定的一种涂料，在一定的范围内，烘干时间与烘干温度近似成反比例关系。如图7-2所示。在烘干窗曲线的左下方，烘干温度低于一定的温度，烘干型涂膜有可能不能完全固化。而在烘干窗

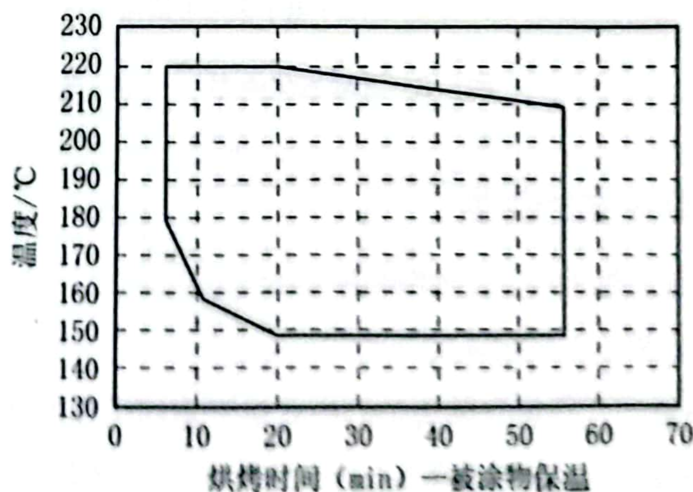


图7-2 新一代阴极电泳漆烘干工艺窗

曲线的右上方烘干温度高而且烘干时间过长，涂膜出现过烘干现象，涂膜变黄且机械强度下降。根据图7-2，通过快速升到较高的温度，可以缩短烘干室的长度和烘干时间。

二、涂膜固化类型

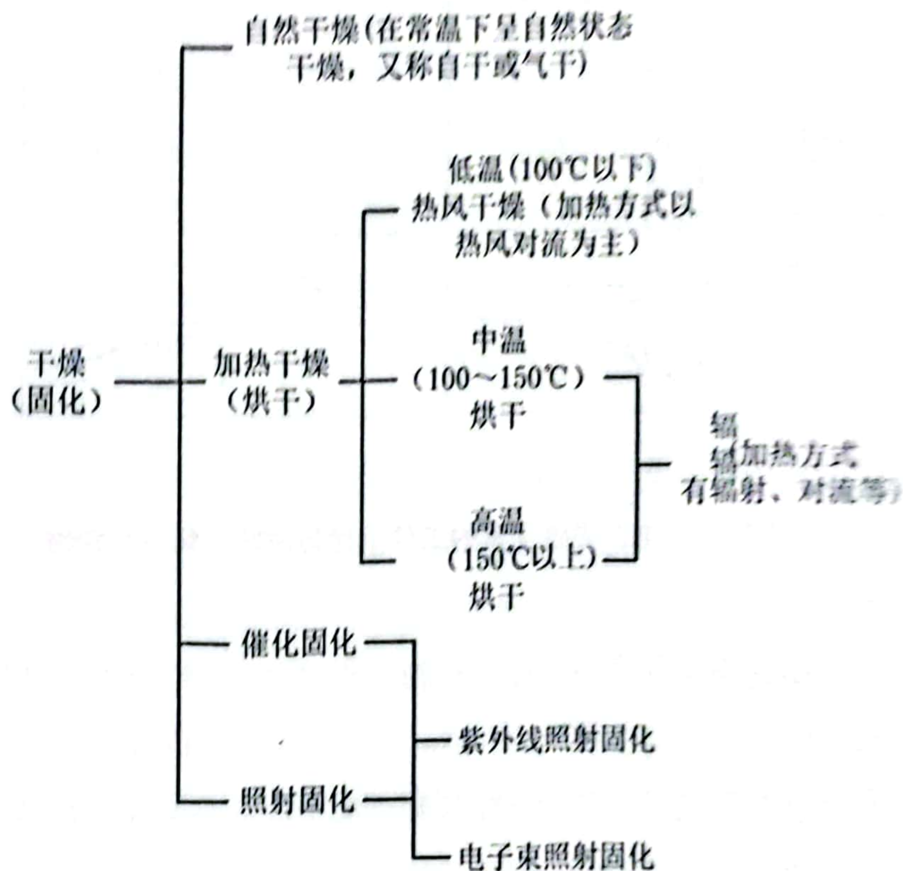


图7-3　涂膜固化类型

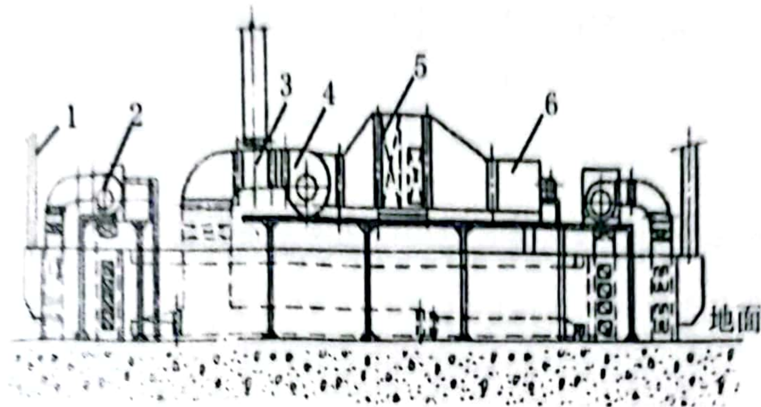
三、烘干室的类型

1. 直通式烘干炉（见图7-4）

2. 桥式炉（热风循环式）

图7-5是一含有废气燃烧炉的桥式烘干室的工作原理图。桥式的气封关键是A点一定要高于B点。该设备在桥部加了热风，从桥部返回的热风，经过新风预热器后排至大气中。这样既提高了气封效

果，还能更好地利用热量。



1. 排风管；2、4. 密闭式风机；3. 排风分配室；

5. 过滤器；6. 燃烧室（或电加热器）

图7-4　直通式烘干炉

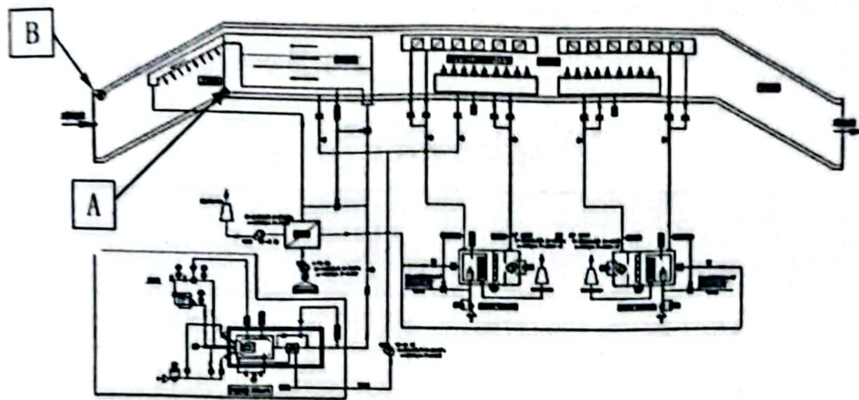
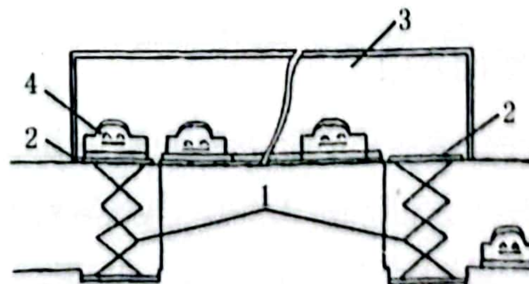


图7-5　桥式炉（热风循环式）

3. Π形烘干室



1. 升降机构；2. 升降机平台；3. 烘干室；4. 被烘干车身

图7-6　Π形烘干室示意

第二节　烘干室的组成

烘干室由烘干室实体、进出口壳体、热传递系统、电控及测温记录系统及各种辅助设备组成。

一、烘干室实体

一般为镶板式结构，在工厂预制成标准块，在现场任意组装。标准块为双层钢板，内充矿渣棉等绝热层。绝热层的厚度根据烘干室温度要求而定。温度高，应选厚层，表7–1为不同烘干室室体的材质要求。

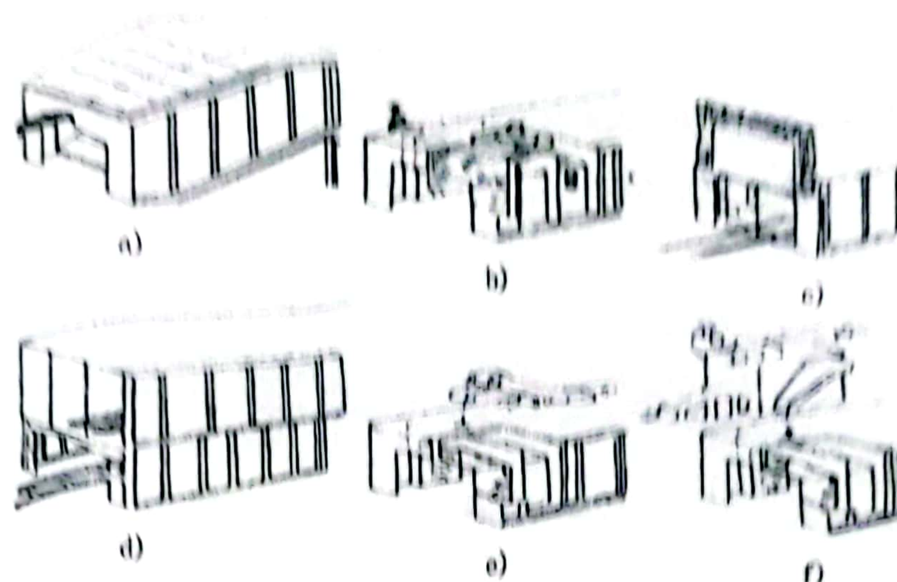
表7–1　烘干室室体的材质要求

温度（℃）	用途	保温（mm）	内壁板（mm）	外壁板（mm）	风管保温（mm）
60以下	自然干燥	50岩棉	镀锌钢板	0.4钢板	不需要
60～120	强制干燥	75岩棉	镀锌钢板	0.6钢板	50隔热层
120～180	烘干	100玻璃棉	镀锌钢板	0.6钢板	50隔热层
180～240	粉末，含氟涂料烘干	150玻璃棉	镀铝钢板	0.8钢板	100隔热层
240以上	含氟涂料烘干	200玻璃棉	镀铝钢板	1.0钢板	150隔热层

二、烘干室出入口

因为烘干室的温度高于周围环境的温度，所以进出口必须采用风幕、间歇开启的门或利用桥式和热空气风幕来防止热损失。图7–7为通过式、桥式及П形烘干室进出口门的结构。

1）通过式结构的烘干室靠进出口风幕来保证炉体内的温度，其散热量很大。



a）桥式烘干室端部（适用于悬挂式输送链）；b）循环空气风幕；c）升降门；d）"Π"字形烘干室端部（适用于地面滑橇输送）；e）直接加热的热空气风幕；f）热交换加热的热空气风幕。

图7-7 烘干室进出口端部结构示意

2）桥式炉因炉的底部高于进出口的上缘，靠热空气向上升来保温，热能损失小。

3）"Π"字形烘干室除具备桥式炉的特点外，其升降平台相当于一个门，更有利于烘干室的保温。

三、热传送系统

绝大多数涂装烘干室采用热对流加热和热辐射加热系统或二者混合使用进行加热。

对流加热的热传递是通过循环热空气对流传导，其优点是加热温度均匀，但工件加热升温时间长，热效率低。一般对流热风烘干室的热效率见表7-2。

辐射加热是采用直接加热的辐射元件通过辐射传热，热效率高，升温快。但辐射为直线传播，有照射盲点，会产生温度不均匀

现象，需要靠加强循环风促进复杂工件温度均匀。辐射加热主要是红外加热，详细可分为近红外、中红外、远红外加热技术。

各种红外辐射加热器的技术性能见表7-3。

表7-2 对流热风烘干室的热效率 （%）

烘干室类型 加热方式	直通式	桥式
直接加热	10～25	25～40
间接加热	10～20	20～35

表7-3 红外线辐射加热器的技术性能

名称	红外线波长（μm）	辐射体温度（℃）	元件起动时间	备注
长波长（远红外）红外线	4以上	650以下	约15min	暗式
中波长红外线	2.5～4	650～1 100	60～90s	亮式
短波长（近红外）红外线	0.75～2.5	1 100以上	1～2s	亮式

在不同的温度下不同波长的热能分配比例如表7-4，表中内容说明，辐射器温度越高短波长热能所占比例越高。

表7-4 不同的温度下不同波长的热能分配比例

温度（℃）	波长<2μm（%）	波长2～4μm（%）	波长>4μm（%）
600	2.2	37.2	60.6
900	13.0	46.4	40.6
1 200	26.1	46.9	27.0
1 600	43.2	40.1	16.7
2 200	62.5	28.7	8.8
2 700	73.7	21.0	5.7
3 000	77.9	17.6	4.5

CamScanner

20世纪70年代中国开发的有机涂层的远红外烘干的波长匹配理论和碳化硅管（板）、电阻带式远红外辐射元件，都得到了工业上的应用。

但是远红外线由于发射元件温度低，工件升温慢，所谓匹配理论也很难真正实现。20世纪90年代以来逐渐为一种高红外烘干技术所代替。所谓高红外是指可瞬间提供高强度、高能量、高密度、全波段红外辐射技术。锦州红外技术应用研究所利用高红外元件的热源（2 200～2 400℃）、石英管外罩（800℃）及定向反射罩（500～600℃），使一个元件可同时发射近红外、中红外、远红外线，长、短、中波红外成分虽然占有比例不均等，但可达到最大辐射功率，能瞬间达到加热温度。近年来陶瓷黑晶管辐射加热技术也在电泳烘干和粉末烘干的高温烘干室得到成功应用（见图7-8）。

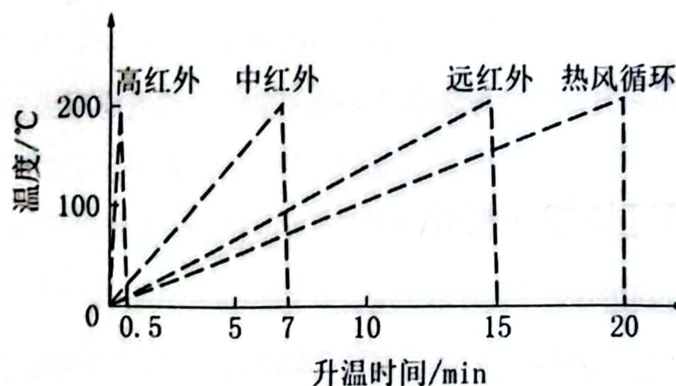


图7-8 各种不同加热方式工件升温时间

从图7-8可知，采用辐射的加热方式是直线传播，能使被照射到的工件表面快速升温，并且表面温度要高于烘干炉中的空气温度。照射不到的工件表面升温较慢，因此采用辐射的加热方式时，在升温段要加强循环风的速度并吹向辐射不到的表面。由于电泳漆是高温烘干且对过烘干容忍度大，在电泳漆烘干室升温段采用高红外辐射能快速升温缩短烘干时间。

图7-9为某公司电泳烘干室采用高红外辐射加热改造前后的汽

CamScanner

车驾驶室的烘干温度曲线，该烘干室原先采用煤气燃烧提供烘干热源，升温区采用高温燃气加热壁板发射加热，因设备老化达不到烘干工艺要求。通过改造，在升温段采用高红外加热使驾驶室很快达到温度，图7-9为某公司驾驶室电泳漆烘干炉采用高红外改造前后温度曲线对比。如若原先使用电加热对流烘干的场合，改用高红外加热烘干，在同样功率下，烘干效果可以提高30%以上。

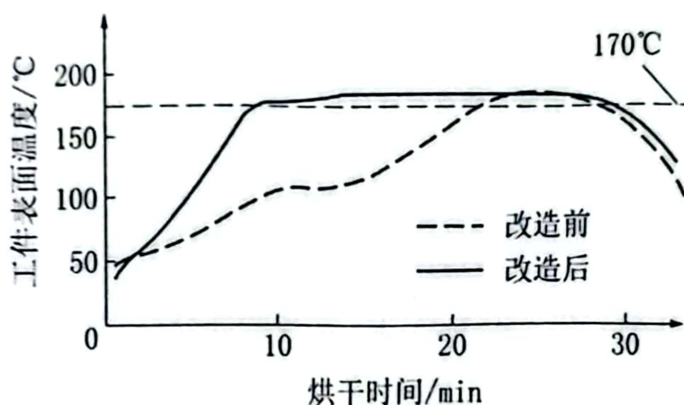


图7-9　某公司驾驶室电泳漆烘干炉采用高红外改造前后温度曲线对比

四、高红外加热技术

1. 辐射强度

1）在电加热管热风炉内，辐射传热的能量可忽略不计，完全以对流传热方式为主。

2）在远红外炉内，在开炉之时，最强辐射强度（即电能与辐射能转换效率）仅为50%左右，恒温时，要远弱于此水平。

3）高红外加热，该指标应在85%以上，对流传热仅占一小部分。

2. 反射系统

辐射传热最重要的技术就是聚焦，辐射能跟光一样，可以反射、穿透和吸收。根据能量守恒，得出其能量关系：Q总=Qa+Qr+Qd（吸收能Qa、反射能Qr、穿透能Qd）。即将平板或管式加热元件聚焦，可使70%～80%的能量辐射到工件表面。通常的做

法是：对板式元件减少其热惯性，在其背面实行绝热措施；对管状元件采用光亮铝或不锈钢反射罩。

3. 测温技术

高红外应用于烘道中，采用恒温控制技术。高红外烘道温度的测定及控制比较特殊。在高红外固化烘道中，可用4.0~12μm红外光导纤维传感器来非接触测量工件表面温度，或用$\varepsilon\lambda=0.9$的铂薄膜测温仪直接测量，由此严格调整各部位的辐照密度。在实际工业应用中，产品的单一化流水作业可由热电偶、热电阻实现相对温度的测量和控制。

五、涂层快速固化炉设计条件

有机涂层的固化在一定范围内是温度与时间的乘积成正相关系，如提高温度，可以缩短固化时间。从实践中分析，不同质量、体积、表面积的工件，所采用的固化工艺参数基本上是一致的。

通过理论和实践证明，实现快速固化必须满足下面3个条件：

1）保证工件在固化过程中上、中、下温度均匀。

2）无论工件大小、质量如何，元件必须能瞬间提供大量的热源。

3）保证工件表面达到较高温度。

因此采用高红外加热，特别适用于高温烘干的涂料如电泳漆、粉末涂料等。

六、烘干室的维护保养

1）定期清理烘干室内外，国内外大型汽车厂每天第三班进行擦拭。

2）定期检查过滤器状态，根据过滤器前后的压差和温度决定更换新件。

3）定期测定烘干室被涂物的烘干温度曲线，进行分析处理。

CamScanner

4）定期检查和更换部分易损件。

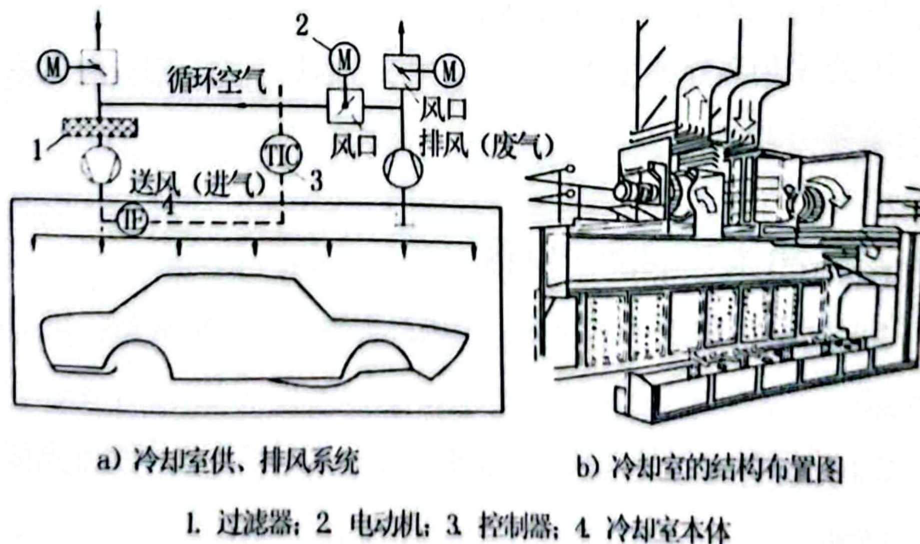
5）对转动的部件（例如风机）等润滑部位加注润滑剂。

6）按涂装设备设计部门或生产厂家提供的维修保养要求安排检修。

第三节　强冷室

依靠强制吹冷风，促使刚出烘干室的工件迅速降温，达到温度45℃以下。强冷室由室体、风箱、送排风机、送排风管、喷嘴等组件构成。冷空气从室外引入，一般应设过滤器，送风机将冷空气送到两侧的风箱，经喷嘴吹向工件，热空气从强冷室顶部被排风机排出。强冷室剖面见图7-10和图7-11。

风箱的厚度为300mm，喷嘴的分体为纵向300mm，横向500～600mm，喷嘴出口处风速为15～20m/s，总风管的风速为8～12m/s。



a）冷却室供、排风系统　　b）冷却室的结构布置图

1. 过滤器；2. 电动机；3. 控制器；4. 冷却室本体

图7-10　强冷室剖面

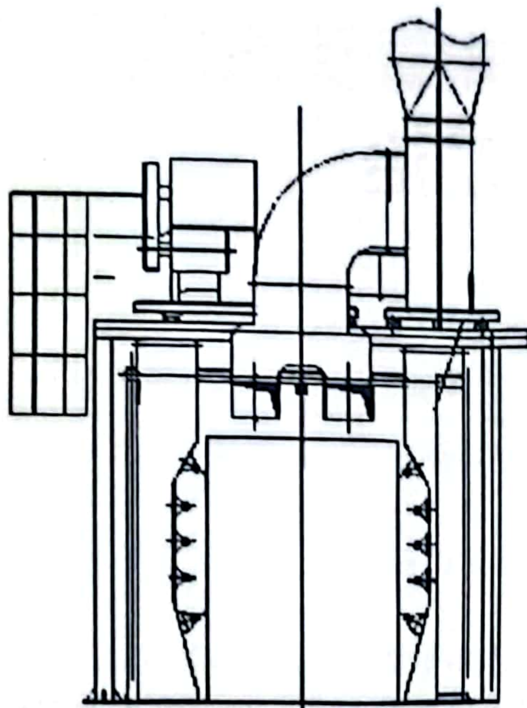


图7-11　強冷室截面图

强冷室内的换气次数为6次/min。强冷时间也与工件形状、板材厚度有关，薄钢板件如汽车车身，强冷时间为5～6min；厚钢板件如汽车车架钢圈等强冷时间为8～10min。



电泳涂装的漆膜弊病及防治

由于电泳涂装方法的独特性，所产生的涂膜弊病虽然与一般涂膜弊病相同，但其产生原因及防治方法不同，有些弊病是电泳涂装所独有。

第一节　常见电泳涂装漆膜弊病及防治

电泳涂装常见涂膜弊病（见表8-1）

表8-1　电泳涂装常见涂膜弊病产生时的检查要点

序号	缺陷名称	确认事项	检查确认内容
1	膜厚不足	1.电压 2.通电不良 3.槽液温度 4.固体分 5.溶剂含量	1.检查电压是否适当（偏低） 2.检查挂具上是否有涂料附着、测极罩电阻 3.槽液温度是否保持在工艺规定范围内（偏低） 4.固体分是否偏低 5.溶剂含量是否偏低

续表

序号	缺陷名称	确认事项	检查确认内容
2	漆膜过厚	1.电压 2.通电时间 3.槽液温度 4.固体分 5.溶剂含量	1.检查电压是否适当（偏高） 2.输送链速度是否变慢 3.槽液温度是否保持在工艺规定范围内（偏高） 4.固体分是否偏高 5.溶剂含量是否偏高
3	缩孔、凹坑、针孔	1.涂料、槽液 2.环境 3.去离子水 4.预处理 5.颜料分	1.检查槽液中有无异物（油）混入 2.被涂物是否被油分、面漆雾污染 3.去离子水的水质是否合格 4.脱脂是否不良 5.颜料分是否偏低
4	漆膜有颗粒	1.涂料、槽液 2.水洗水 3.被涂物 4.环境	1.检查槽液内有无沉淀物、凝聚物或异物混入 2.电泳后的清洗水是否太脏 3.被涂物不清洁或磷化后水洗不充分 4.涂装环境是否不清洁
5	二次流痕	1.槽液、UF水洗水 2.水洗	1.固体分是否过高 2.电泳后水洗是否不充分
6	涂面的异常附着	1.电压 2.灰分 3.溶剂含量 4.设备、操作 5.磷化 6.电导率	1.泳涂电压是否过高，涂膜被击穿 2.灰分是否过低 3.溶剂含量是否过高 4.极间距是否过近 5.磷化药品未清洗净 6.是否杂质离子过多，电导率过高

CamScanner

续表

序号	缺陷名称	确认事项	检查确认内容
7	水滴迹	1.挂具 2.被涂物	1.在电泳水洗后的晾干过程中挂具是否滴水 2.在电泳水洗后被涂物上是否有积水
8	不均匀的干漆迹	1.水洗 2.输送链速度 3.槽液温度 4.环境	1.电泳后冲洗是否充分 2.电泳和后冲洗之间的时间是否过长 3.槽液温度是否过高 4.涂装环境的温度过高
9	再溶解	1.槽液 2.水洗水 3.输送链	1.槽液的pH值是否低 2.水洗水的pH值低或冲洗压力是否过高 3.输送链速度是否变低或停止
10	涂面斑印	1.磷化后的水洗 2.环境 3.挂具上的污物	1.水洗是否充分 2.被涂物在电泳前是否被污染 3.挂具是否有污物滴落
11	漆膜粗糙	1.磷化 2.固体分 3.去离子水 4.预处理 5.颜料分	1.磷化膜是否均匀，水洗是否充分 2.槽液固体分是否过低 3.去离子水的水质是否合格 4.脱脂是否不良 5.颜料分是否偏低
12	泳透力低	1.槽液的泳透力 2.电压 3.固体分 4.搅拌	1.槽液和原漆的泳透力是否合格 2.检查电压是否适当（偏低） 3.检查固体分是否偏低 4.检查槽液搅拌是否正常
13	带电入槽阶梯弊病	1.槽液面状态 2.电压 3.输送链运行状态	1.入槽部位液面有无泡沫 2.入槽段电压是否过高 3.输送链运行有无脉动

第二节　电泳涂装质量检查要点

为确保电泳涂装生产线的正常进行并获得稳定的涂装质量，必须对工艺参数、生产设备及生产环境进行严格的科学管理，管理要点及频率见表8-2。表8-3是日本关西涂料公司为其HB2000阴极电泳涂料用户列出的槽液管理、管理范围及检查频次。

表8-2　电泳涂装生产线的管理要点及频率

类别	项目	检查频次	管理要点
涂料特征	固体分（%）	1次/班	
	pH值	1次/班	
涂装条件	槽液温度（℃）	2次/日	根据得到的涂膜厚度的条件来确定
	泳涂电压（V）	2次/日	
	泳涂电流（A）	2次/日	
	输送链速度（m/min）	2次/日	
涂装质量	膜厚（μm）	2次/日	有无异常现象
	漆膜外观	2次/日	
	涂膜硬度（或干燥程度）	2次/日	
涂装数量	生产数量	每日记录	
涂料补给和调整	涂料补给量	每日记录	补给量是否过少
	补加溶剂等调整剂量	每日记录	调整剂的品种和补加量确切与否
主槽状态	液面落差（cm）	1次/日	落差＜5cm
	液面泡沫	1次/日	产生的泡沫是否过多
	液面流速（m/s）	1次/日	正常否
	液面颜色	1次/日	颜色应均匀

CS CamScanner

续表

类别	项目	检查频次	管理要点
循环系统	泵、管道的泄漏	1次/日	应无泄漏
	泵的异常声音	1次/日	应无异常声音
	各部位压力	1次/日	正常与否
	过滤器压差	1次/日	正常与否，压差大时应更换过滤网
UF装置	UF液的总透过量	1次/日	透过量正常否
	各UF元件的透过量	1次/日	
	UF液的状态	1次/日	应不混浊
	UF装置进、出口压差	1次/日	正常否
	过滤器的压差	1次/日	正常否
极液系统	循环量	1次/日	
	极液电导率（μS/cm）	1次/日	
	极液状态	1次/日	应不混浊
水洗系统	水洗压力 水洗状态	1次/日 1次/日	喷嘴有无堵塞、方向是否正常、水洗效果是否正常（有无二次流痕）
去离子水装置	水质（μs/cm）	1次/日	有无纯度下降现象
	制水量	1次/日	
电泳前的表面处理	表面状态	1次/日	
	滴水电导（μs/cm）	1次/日	
	磷化的特性值	1次/日	
烘干室	温度（工件温度） 烘干时间	2次/日	检查记录是否正常 每周（或定期）测定一次工件随行温度曲线

表8-3　电泳槽液管理、管理范围及检查频次

序号	槽液管理项目		管理范围	HB2000槽液检测频次				备注
				建槽时		稳定时		
				用户	涂料厂	用户	涂料厂	
1	槽液固体分（%）		18～20	1次/日	1次/日	-	1次/周	120℃、60min
2	pH值		6.0～6.6	1次/日	1次/日	-	1次/周	在28℃时测定
3	电导率（μs/cm）		1 200～2 000	1次/日	1次/日	-	1次/周	在28℃时测定
4	漆膜外观		好	1次/日	1次/日	1次/日	1次/周	客户实际车上检测
5	电压（V-μm）	200V 250V 300V	20～24 28～34 34～44	-	1次/日			槽液温度：28℃，通电3min，膜厚随熟化条件不同可能发生变化
6	分极电阻（kΩ·cm）		400～1000	-	1次/日	-	1次/周	
7	库仑效率（mg·C）		30～40	-	-	-	1次/周	
8	泳透力（cm）		≥20	-	1次/周	-	1次/月	
9	灰分（%）		19～26	-	1次/周	-	1次/月	
10	MEQ		25～35	-	1次/周	-	2次/月	
11	溶剂含量（%）		1.5～3.0	-	1次/周	-	2次/月	
12	破坏电压（V）		≥300	-	1次/周	-	1次/月	
13	夹杂离子（10^{-6}）	Na Fe	≤30 ≤200	-	1次/月	-	1次/月	预处理滴水电导率：≤30μs/cm（车身滴水）
14	铅笔硬度		H	—	-	-	1次/月	三菱铅笔
15	附着力		100/100	-	-	-	1次/月	1mm×1mm×100格

续表

序号	槽液管理项目	管理范围	HB2000槽液检测频次				备注
			建槽时		稳定时		
			用户	涂料厂	用户	涂料厂	
16	冲击强度	50	-	-	-	1次/月	1/2in500g杜邦式
17	耐盐雾（h）	1 000	–	–	–	1次/2~3月	

注：上述槽液管理项目及检测频次，是槽液更新速度比较快的情况（月泳涂10 000台汽车车身）。对于槽液更新速度慢的生产线，其检测频次和管理范围有所不同。



电泳涂料、电泳槽液及涂膜性能检测方法

第一节　电泳涂料、电泳槽液及工艺性能检测方法

一、国标及行业标准检测方法

我国的涂料、涂层检测方法主要是国家标准方法（GB/T），还有化工部标准及其他各部自行制定的检验方法。

在汽车行业的合资企业中有采用美国ASTM标准、国际ISO标准、德国DIN标准等，同时也采用了大量合资的国外汽车企业的试验方法。有关涂料及涂层的国标及行业标准检测方法详见附录B。

二、电泳涂装新检测方法

由于国内各行各业均引进国外技术形成大量的合资企业，这些合资企业也引入了国外的一些新的涂料、涂膜质量检测方法。

国内的公司作为统一的企业标准，各公司也都编制各自的汽车用材料标准和检验方法作为本集团公司检测方法，原则上有ISO国际标准、国家或部颁标准的全部采用，没有统一标准的以企业标准

CamScanner

编制，特别是合资以后采用了大量的国外汽车公司成熟的标准方法。下面是一些尚未纳入国标及部标的电泳漆试验方法。

1. 沉淀性测定法

（1）概述

a）本标准规定了在电泳漆涂装中，电泳漆沉淀性的测定法。

b）本标准适用于电泳漆原漆工作液，现生产槽液及双组份乳液沉淀性的测定。

（2）定义

a）电泳漆原漆工作液的沉淀性：按有关标准配制、熟化好工作液，停止搅拌静置24h，无明显分层，颜料虽略有沉淀，但易搅起。

b）现生产槽液的沉淀性：从生产现场取回的电泳槽液，静置24h，看槽液分层情况，测量颜料沉淀量。

c）双组份电泳漆乳液沉淀性：静止120h后，无明显分层现象产生。

（3）材料和仪器

a） 100mL量筒。

b）容量1 000mL锥形量筒，带有刻度。

（4）测量步骤

a）量筒计量法：

将现生产槽液或双组份乳液倒入100ml量筒中，放置在室温下，静止一定时间后，直接在量筒刻度上读取槽液或双组份乳液分层的毫升数。

此方法一般用来测定现生产槽液及双组份乳液的沉淀性。

b）锥形量筒法：

将熟化后的1 000mL电泳漆工作液倒入1 000mL锥形量筒中，在室温下静止24h后，观察工作液分层性和颜料沉淀量，并用洁净玻

CamScanner

璃棒检查颜料是否易搅起。

（5）结果评价

a）双组份电泳漆乳液，静止120h后，应无明显分层现象，如有读取量筒上部分层的毫升数。

b）电泳漆原漆工作液，一般考核静置24h后，无明显分层，锥形量筒底部颜料虽略有沉淀，但易搅起。读取锥形量筒底部颜料沉淀的毫升数。

c）现生产槽液，一般考核静置24h后，颜料分层情况，读取量筒上部分分层的毫升数。

2. 水平面沉积效果（L–效果）测定法（图9–1）

（1）概述

用电泳涂装L型试板的方法，检查被涂物水平面和垂直面涂膜质量，衡量涂料的泳涂膜效果。

（2）试验仪器、材料

a）电泳涂装装置一套。

b）试板：与生产线上产品相同材质的磷化板；规格为70mm×150mm×0.8mm；按图 A_2 沿长边下端 60 mm 处折成直角，并按规定的磷化工艺进行处理。

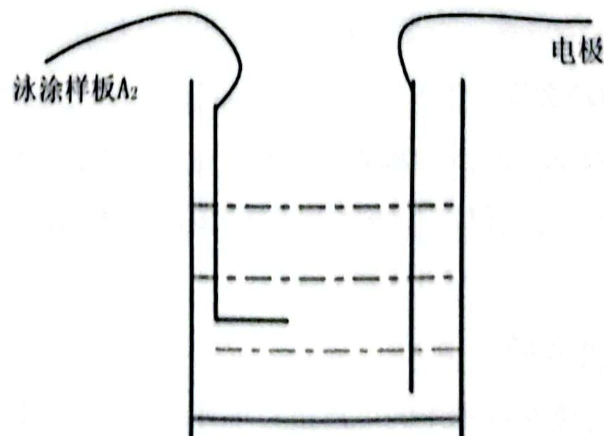


图 9–1　水平面沉积效果（L–效果）测定示意

（3）操作步骤

a）将试板的水平部分朝向电极一侧，垂直部分距离电极150 mm，垂直部分上端露出液面30 mm。

b）电压设定在膜厚为（20 ±2）μm处，通电3min。

c）按涂料要求进行涂装、干燥。试板烘干时将水平部分朝下放置。

（4）结果评价

测定垂直部分和水平面部分的膜厚，并记录厚度；与L型效果5个级别的标准样板进行比较，判定等级并记录（表9-1）。

表9-1 涂膜外观评价标准

等级	评价标准
非常好	水平面与垂直面的外观、膜厚、光泽无差别
优良	水平面与垂直面的外观 、膜厚、光泽无明显差别
一般	水平面有个别颗粒，膜厚差别不大，无失光等涂膜缺陷
不好	水平面有颗粒，膜厚差别大，有失光等涂膜缺陷
非常劣	水平面有密集颗粒，有失光、缩孔等涂膜缺陷

3. 电泳涂膜破裂电压测定法

（1）概述

用待测涂料进行电泳涂装，电压以10V的间隔逐渐升高，以求得涂膜破坏时的电压，亦称击穿电压。

（2）试验仪器、材料

a）电泳涂装设备及恒温装置一套。

b）试板：与生产线上产品相同材质的磷化板（70mm×150mm×0.8mm）。

（3）操作步骤

按待测电泳涂料规定的电压进行电泳涂装。电压以正常电泳电压以每10 V间隔升高，直到涂膜破坏。伴随涂膜破坏，会发生槽液

通过电流及温度急剧上升，因此要求使用恒温装置。槽液温度控制在（28±1）℃。试验重复两次。除电压外，其他涂装条件应相同。当出现涂膜破坏时，试验应重复两次以上，两次之间应搅拌10min以上。

（4）结果评价

以最低的一次破坏电压作为该电泳涂料的“破坏电压”。浸没线5 mm以内的涂膜不作为评价对象。

4. Gel分率测定

（1）概述

Gel分率指经过固化后的电泳涂膜，浸入规定的混合溶剂中一定时间后，电泳涂膜的质量与浸入溶剂前的电泳涂膜的质量比。Gel分率是表示电泳涂膜交联固化程度的一种方法。

（2）试验仪器、材料

a）分析天平，感量0.1mg。

b）磷化钢板。

c）电热鼓风干燥箱，精度为±2℃。

d）混合溶剂 甲醇：丙酮=1：1（体积比）（化学纯）。

（3）操作步骤

将磷化钢板在（120±2）℃条件下烘15min冷却后称重（m_1），按规定条件进行电泳涂装后将样板在产品规定的固化条件下烘干，冷却后称重（m_2）。然后将样板完全浸入混合溶液中24h，取出样板用滤纸擦干，漆膜应无起泡、剥落、发粘、明显变色、明显失光等现象。将样板在（120±2）℃条件下烘1h，冷却后称重（m_3）。

（4）计算

$$\text{Gel分率} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100\%$$

式中：m_3——样板浸泡溶剂后在（120±2）℃条件下烘1h后的

质量，单位为g；

m_1——磷化样板的质量，单位为g；

m_2——样板在电泳漆膜固化条件下烘干后的质量，单位为g。

结果取两次平行测定的算术平均值，平行测定的相对偏差应≤3%。

5. 电泳涂膜再溶解性测定法

（1）概述

试板在规定的条件下电泳涂装后，将湿涂膜的下半部按规定时间在电泳槽液中浸渍后取出，烘干后测定上下部涂膜的膜厚，进行下部与上部膜厚的比较，求出再溶解率（%）。

（2）测试仪器及设备

a）电泳设备一套。

b）涂层测厚仪（0～50 u m的测量范围）。

c）试板：与生产线上产品相同材质的磷化板：规格：70mm×150mm×0.8mm。

（3）操作步骤

a）试板在待测电泳槽液中按规定的条件进行电泳涂装，水洗后，立即将涂膜的下半部浸渍在搅拌的电泳槽液中。

b）10 min 后，取出试板清洗后按待测电泳涂料规定的条件烘干。

c）试板的上部和下部按 GB/T 1764分别测定涂膜厚度。

d）以上操作重复3次，取平均值。

（4）计算

$$A=\frac{B-C}{B}\times 100\%$$

式中：A——再溶解率；

B——上部的膜厚（μm）；

C——下部的膜厚（μm）。

CamScanner

6. 泳透力测定法

在复杂的零件如汽车车身等要求车身内部涂膜的完整性非常重要，车身底漆涂装几乎100%采用阴极电泳涂装。考核电泳涂装的涂装效果（膜的完整性和箱式结构内部的膜厚程度）与电泳漆的泳透力有极大的关系。因此汽车车身涂装用的阴极电泳底漆一般要求泳透力要高。考核泳透力的方法有一汽钢管法、福特盒法和4枚盒法。3种方法的测试方法及仪器如下：

福特盒法

（1）试验仪器、材料

a）电泳涂装装置一套。

b）测试磷化钢板，尺寸：（300mm–350mm）×105mm×0.75mm。

c）隔条：材质为pvc塑料，尺寸：（300mm–350mm）×4mm×10mm。

d）防水胶带：宽度为20mm和38mm两种。

e）可调速电动搅拌机，也可采用合适的磁力搅拌器。

（2）操作过程

a）泳透力盒（福特盒）的制作（试验装置见图9-2）。

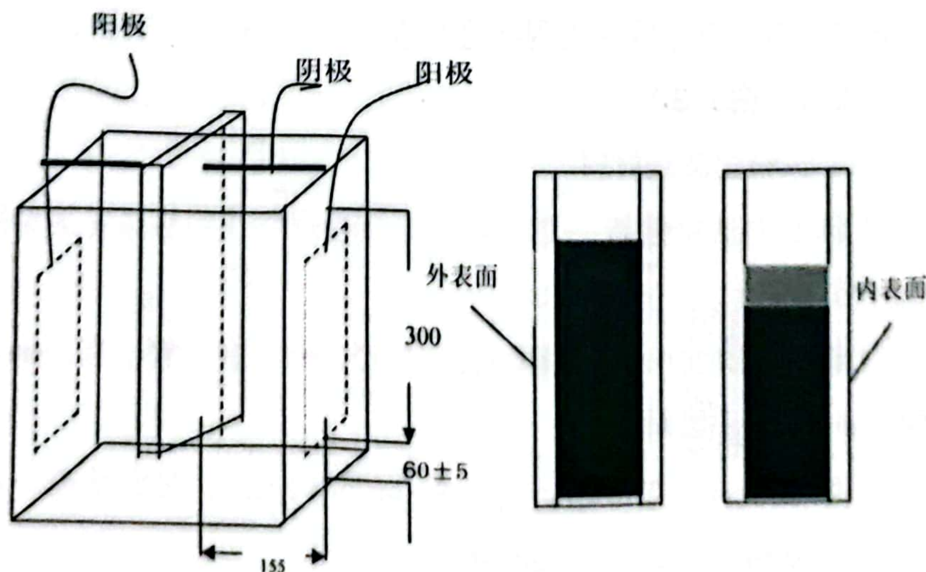


图9-2　福特盒法试验装置

用宽20mm胶带将测试板的两条长边粘好，然后在两块测试板间放两根隔条，隔条沿测试板的长边边缘放置，使两块测试板间距为4mm。用宽38mm胶带将测试板长边及其隔条一起固定，形成上下空，两边用胶带封闭的泳透力盒。

b）将泳透力盒放入已熟化好的电泳漆工作液（温度调整到产品规定的范围，放入的高度为300mm）中，使其底端离槽底（60±5）mm，与极板距离为（155±2）mm。可以在测试板24cm高度处做好记号，浸入工作液后使液面正好在记号处。

c）极板接电源正极，伏特盒接电源负极，将搅拌头放置在极板和伏特盒之间，开动搅拌（注意调节转速，工作液不能波动过大影响到外板漆膜高度）。将电压在时间15s内升至规定电压，电泳3min后断开电源。

d）取出泳透力盒，撕去固定测试板两边的胶带，取出隔条。

e）将测试板用去离子水冲洗，然后按该电泳漆规定的干燥条件烘干测试板。

（3）结果表示

从上向下测量每一块测试板内表面涂膜长度，平均长度以cm计算，其数值即是电泳漆的直观泳透力值。

钢管法（图9-3）

（1）试验仪器及材料

a）泳透力试验装置一套，其中电泳槽规格及阳极板安装见图9-3。

b）钢管：高220mm，外径25mm，内径20mm，在钢管上端10mm处钻两个ϕ2～3mm的对称孔。

c）钢板条：长230mm，宽15mm，厚1mm，在离长端一端20mm居中处钻一个ϕ2～3mm的孔。

d）电泳槽：高240mm，内径54mm的塑料或玻璃筒形槽。

CamScanner

e）电极：对于阴极电泳涂装。

阳极：长185mm，高100mm的薄不锈钢片或紫铜片。将此不锈钢片围成ϕ54mm的圆筒，沿电泳槽距电泳槽沿以下20mm处放置，并引出电极导线。

阴极：钢板条插入钢管中再穿上一根ϕ2mm的黄铜棒作为工件，是电泳阴极。

f）电泳直流电源：0～450V；电流0～20A。

（2）测定步骤

a）将熟化好的电泳工作液倒入电泳漆泳透力测定装置即上述电泳槽中，保持电泳槽液温度在该电泳漆技术条件规定的范围内。

b）用指定溶剂将钢管和钢板条擦拭干净，装置成阴极，置于电泳槽的中心处，使钢管下端浸入漆液深度为200mm。

c）将直流电源的正负极与电泳槽的两极的导线连接好。

d）采用软起动方式在15s内把电压从零升到规定电压，电泳3min后断开电源。

e）从钢管中取出钢板条，用水冲净浮漆，分别测量钢板条上实漆膜和虚膜的长度，并测量钢管外壁的电泳漆膜的长度。

f）重复上述操作。

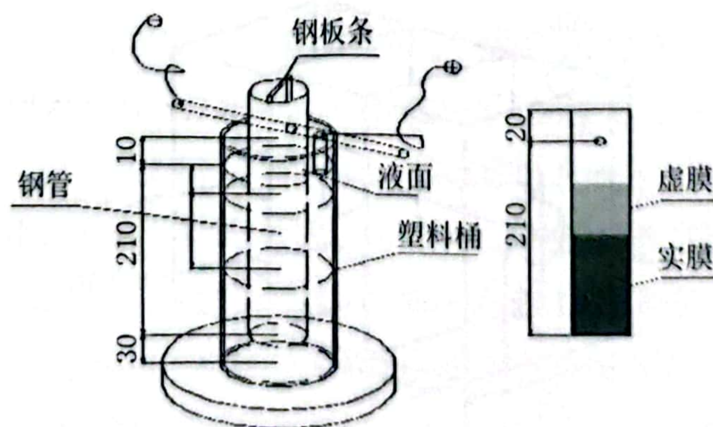


图9-3　钢管法泳透力测定示意

（3）计算

a）泳透率计算

$$X=\frac{B+1/2\,A}{H}\times 100\%$$

式中：X——泳透率

B——电泳漆膜实膜长度（mm）

A——电泳漆膜虚膜长度（mm）

H——钢管外壁电泳漆膜长度（mm）

b）取两次测定的算术平均值作为结果的数据。

4枚盒法

（1）测定方法

取4块（70×150×0.8mm）的磷化钢板，其中3块在距样板底端50mm的中心处钻ϕ8mm的孔，按图9-4所示制成试验盒，即4枚盒。有关板的固定方法及使用原料等没有特别规定，将试验盒的两侧面及底面用胶布等绝缘体封住，电泳时不要让涂料从涂装孔以外浸入。样板之间距离为20mm，试验板的各涂装面按从左至右的顺序记为（A—H）面。电泳槽尺寸为（230×100×180mm），液面高度为130mm，试验盒浸入高度为90mm，极间距为（电极-A面）

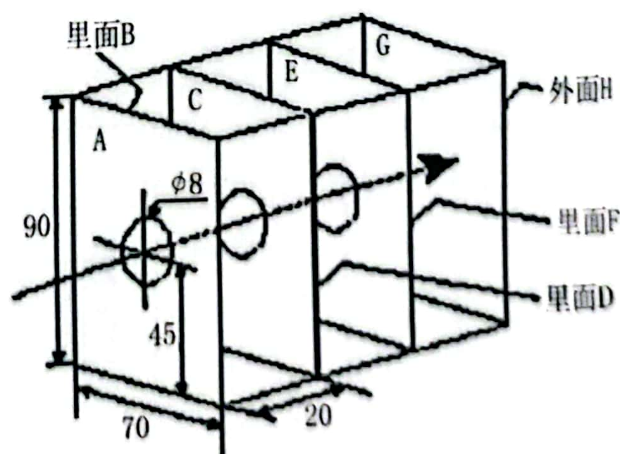


图9-4　4枚盒法试验盒（单位：mm）

150mm，极比（电极的面积：A面～H面的全部涂装面积）1∶8，各样板之间用导线连接。电泳涂装后将试验盒解体，烘干。

（2）评价方法

4枚盒法测电泳漆泳透力是测定各试验板A面到H面的涂装膜厚作为评价对象。如图9-5所示，A面～F面：X印部4点是实验板边缘到孔边缘距离的中点。G面、H面：X印部4点是实验板边缘到电泳涂装面中心距离的中点。然后求出4点的平均值。

以G面的膜厚除于H面或A面的膜厚所得数字为4枚盒法结果。

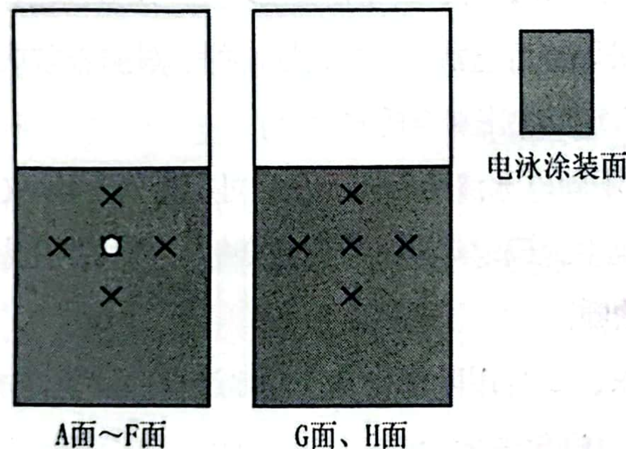


图9-5 膜厚测定图

根据试验有以下规律：

1）福特盒法和4枚盒法适合所有电泳漆种，但福特盒法测出的是被涂工件内表面泳涂高度，而4枚盒法可直接测出被涂工件内外表面膜厚，更接近实际生产。比如，当该涂料的泳透力差时，被涂工件内表面根本泳不上漆。另外，根据4枚盒法测泳透力结果，当G面膜厚为10um时，通过A面膜厚可判断出该涂料的消耗量。

2）同一个漆种，3种方法测出的泳透力具有规律性，但用钢管法做高施工电压的阴极电泳涂料时，由于极间距较近，漆膜有击穿现象，这样不能正确反映泳透力的实际情况，仅作为参考性的检测

方法。另外，当用钢管测试泳透力结果相同时，4枚盒法测试泳透力差别较大，更说明用4枚盒法测试泳透力的合理性。

3）钢管法的优点是被测试槽液量少（仅0.6L左右），操作简单快捷，而福特盒法（8L左右）和4枚盒法（4.5L）被测试槽液用量大。

4）3种方法测出数值都受漆温、施工电压、时间等条件的限制。所以泳透力的试验结果必须注明条件，否则没有可比性。

通过以上试验可以得出如下结论：

1）在材料货源认可、质量复验及现生产质量抽检等泳透力性能鉴定时，应采用福特盒法和4枚盒法，尤其采用4枚盒法更接近于生产实际，并直观反映出材料的消耗量。

2）针对不同电泳漆的特点，在认可福特盒法和4枚盒法泳透力数据指标基础上，确定对应的钢管法指标，用钢管法进行进厂材料检验更简单快捷。

一般要求，车身用阴极电泳漆的泳透力：钢管法≥85%，福特盒法≥20cm，4枚盒法≥0.40。

7. 电泳漆使用稳定性测定法

（1）概述

通过制备相同膜厚涂膜所需电压变化，以此来评价槽液的稳定性。

（2）试验仪器、材料

a）电泳涂装装置一套（电泳槽尺寸：120 mm×200 mm×350 mm）。

b）电热鼓风干燥箱。

c）pH 计。

d）电导仪。

e）测厚仪。

f）温度计。

g）试板：与生产线上产品相同材质的磷化板。规格：70 mm×150 mm×0.8 mm。

（3）操作步骤

a）取使用状态下的电泳槽液放在电泳涂装装置的电泳槽中，在环境温度（23±5）℃下搅拌10~12 h。

b）按标准测试方法测定槽液的温度、pH 值、电导、固体分。

c）将经过磷化的标准试板，按电泳涂料的最佳工艺参数进行电泳涂装，并烘干。

d）冷却后检测试板的外观与膜厚。

e）试验槽液在环境温度（23±5）℃下持续敞口搅拌4周，每1周重复1次b）至d）的操作。

f）试验中，允许根据固体分补充槽液和去离子水，不能补充溶剂。

（4）结果评价

按下列评判标准之一进行评价：

a）在槽液温度、固体分相同的情况下，涂装同一膜厚的涂膜所需电压与试验初期相比，电压升高应≤40V。同时涂膜外观和槽液电导应在该品种涂料的许可范围内。

b）当上述试验完成后可根据溶剂含量检测后补加溶剂和调整pH值到工艺参数范围，测试结果电压、膜厚、外观应与试验初期一致。

8. 漆膜干燥性能测定法

（1）概述

本方法用于判断电泳涂膜是否完全固化。

（2）试验仪器、材料

a）脱脂棉球。

CamScanner

b）甲基异丁基酮。

c）镊子。

（3）操作步骤

工件在电泳涂装后，烘干并冷却至常温，用镊子夹起脱脂棉球浸渍甲基异丁基酮，在该工件表面上进行擦拭，施加压力约 9.8 N，往复擦拭距离5cm为1次，共10 次。检查脱脂棉球有否粘色；被擦拭表面干燥后与未擦拭表面比较有否失光。

（4）结果评价

用肉眼在自然光线下观察被测试板或零件漆膜表面失光、变色情况及脱脂棉球上污染程度，并对照表9-2所列状态判定漆膜的干燥等级，与涂装产品的标准规定确定涂膜的干燥性能合格与否。

表9-2　涂膜的干燥性能判定标准

干燥等级	判定标准
5	漆膜无失光变色现象，脱脂棉球无污染
4	漆膜略有失光，脱脂棉球轻微污染
3	漆膜严重失光，脱脂棉球污染
2	漆膜严重失光软化，脱脂棉球显著污染
1	漆膜脱落，脱脂棉球严重污染

一般以脱脂棉球未粘色，被擦拭表面无失光的5级为合格，4级为基本合格，低于4级为不合格。

9. 电泳漆霉菌测定法

（1）概述

本方法检测电泳涂料中细菌的含量，采用细菌培养法，用细菌培养箱在专门的微生物实验室来完成；并采用细菌测试片检测涂料中的细菌含量，是一种适合涂料生产企业和涂料使用企业的非常简

单而有效的检测手段。

（2）试验仪器、材料

a）细菌测试片（见图9-7）。

b）抗菌剂。

c）恒温器。

（3）操作步骤

a）取阴极电泳涂料槽液试样，将细菌测试片浸泡在试样中5～10s，然后取出，用滤纸将试片下端堆积的液体吸干。

b）将细菌测试片放回管内并拧紧盖子，在管子上标上取样地点及时间。

c）将细菌测试片放在温度27～30℃的培养箱中，72h后观察试片两面的细菌密度。

d）将细菌测试片和附带的对照图比较（见图9-6），以判断样品受细菌污染的程度及细菌的含量。

（4）结果评价

a）图9-7是细菌测试片对杀菌前后检测的图片，图9-8和图9-9为检测细菌含量后的图片，与图9-6比较细菌含量分别为 10^4～10^5/mL和10^5～10^6/mL。

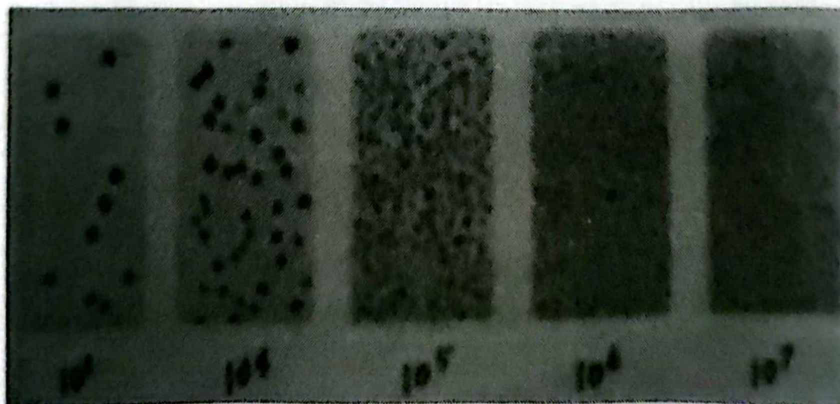


图9-6　细菌含量对照



图9-7 杀菌前后细菌测试片　图9-8 检测细菌含量后的片　图9-9测试片

使用细菌测试片可以随时对整个涂装生产系统进行细菌检测。使用细菌测试片检测细菌含量，可以快速得到结果，对细菌需（24～48）h；对霉菌和酵母菌需72h。检测结果精确可靠，可以及时有效提供监控电泳漆液中的细菌含量并为采取杀菌措施提供依据。利用细菌测试片还可对涂装线上其他系统进行监控，如阳极系统、水冲洗系统等。

10. 电泳涂料MEQ值的测定

（1）概述

用氢氧化钾乙醇标准溶液滴定加了四氢呋喃的电泳涂料，计算100g固体分的电泳涂料消耗中和剂的毫摩尔数。

（2）试验仪器、材料

a）烧杯：100 mL。

b）量杯：50 mL。

c）精密天平：精确到0.1mg。

d）0.1 mol/L 的氢氧化钾乙醇标准溶液。

e）THF溶液（四氢呋喃）。

f）电位滴定装置。

（3）操作步骤

a）精确称取电泳槽液试样约10 g，放入100 mL烧杯中。

b）在上述试样中加入THF溶液50 mL，接入电位滴定装置。

c）将所得试样溶液用 0.1 mol/L 氢氧化钾乙醇标准液滴定，终点由电位曲线图决定。

d）根据下式计算MEQ值：

$$MEQ=\frac{VN}{GS}\times 100\%$$

式中：V——滴定所消耗氢氧化钾乙醇标准溶液的毫升数（mL）；

N——氢氧化钾乙醇标准溶液的浓度（mol/L）；

G——电泳槽液试样的质量（g）；

S——电泳槽液试样的固体分。

第二节　电泳漆膜性能测定方法

1. 电泳漆膜加热减量测定法

（1）概述

电泳涂膜经105℃或120℃除去水分和溶剂，然后进一步升温到烘干温度，按电泳漆技术条件使涂膜烘干，冷却后测出涂膜的质量，然后计算出加热减量。

（2）试验仪器、材料

a）电泳涂装装置一套。

b）精密天平（精确度 0.1 mg）。

c）试板：与生产线上产品相同材质的磷化板；规格：70mm×150mm×0.8mm。

CS CamScanner

d）电热鼓风干燥箱（控制误差±1℃）。

（3）操作步骤

a）用天平准确称量试板3块，分别记录重量W0。

b）进行电泳涂装达到标准膜厚，水洗后充分静止沥水。

c）沥水后的电泳板以 120℃烘烤1h或105℃烘烤3h，在干燥器中冷却后，准确称量，W_1。

d）试板继续按涂料要求的烘干温度烘烤20min，取出放在干燥器中冷却后，准确称量，分别记录质量W_2。

（4）按下式分别计算出加热减量，取平均值

$$加热减量=\frac{W_1-W_2}{W_1-W_0}\times 100\%$$

式中：W_0——电泳前试板质量（g）；

W_1——120℃或 105℃烘烤后试板质量（g）；

W_2——涂膜固化后试板质量（g）。

2. 电泳漆膜锐边防腐蚀测定法

（1）概述

本方法适用于涂膜对金属工件在加工成型过程中形成的锐边的防锈能力的测定。

（2）试验仪器、材料

a）盐雾试验箱。

b）涂层测厚仪（非破坏性测量的测厚仪）。

c）裁纸刀片。

（3）操作步骤

a）按照供需双方认可的裁纸刀片和磷化处理剂，将刀片进行磷化处理。

b）将刀片悬挂浸入电泳槽液中，极间距为150mm，将刀片刀刃正对极板固定。以软起动方式在30s内从0V升到规定的电压，电泳

CamScanner

2min30s。

c）试验刀片为5枚。

d）电泳涂装后的刀片用水洗净，按涂料规定的条件烘干。

e）涂膜厚度应为（20±2）um。

f）将烘干后的刀片固定在刀片架上，保持刀刃向上，刀片间距10mm以上。

g）根据供需双方商定的试验时间（或168h）按GB/T 1771 的规定进行盐雾试验。

h）168h后，取出用水冲洗干净。

（4）结果评价

a）用4倍的放大镜观察刀片刀刃的锈蚀、起泡个数，刀片两端5mm不作评价对象。

b）求5枚刀片的锈点平均数。

3. 循环交变腐蚀试验方法

（1）范围

本标准规定了漆膜循环交变腐蚀试验方法，试验条件及评级标准。适用于所有耐蚀涂层抗表面腐蚀和穿透性腐蚀的能力。

（2）引用标准

下列标准包含的条文，通过在本标准中引用而构成本标准的条文。

ASTM　B　117-73（1979）——盐雾试验；

DIN　50017KK——凝露人工气候试验箱；

P-VW1210——车身防腐测试方法；

GB1765-79（89）——测定耐湿热、耐盐雾、耐候性（人工加速）的漆膜制造法。

（3）仪器和材料

盐雾试验箱#、湿热试验箱#、蒸馏水、氯化钠、分析纯。

CamScanner

注：# 本试验在单独的试验设备中进行，亦可在一个交变的试验设备中进行。

（4）试验样板的制备

a）除特殊要求外，试验样板按GB1765-79（89）制备。

b）采用生产线上零件如遇大件，可在不破坏漆膜前提下进行切割，然后将切割处作防锈处理。

（5）试验内容

a）盐雾试验：4h，35℃，NaCL浓度（50±10）g/L，pH值6.5~7.2，喷雾压力（70~170）kPa，降雾量（1~2.5）mL/h。

b）常温过程：室温（18~28℃，相对湿度40%~60%）保持4h。

c）耐湿性试验：（40±3）℃，相对湿度100%，保持16h。

a）~ c）顺序为一个循环，按要求进行数次循环试验。

（6）试验结果及评定

试样结果的评定根据循环腐蚀试验过程中，锈蚀的生成和发展及表面防蚀层的其他变化与用户的标准对比作出。检查时用定性滤纸将样板表面的凝露吸干，在光线充足条件下观察，结果以3块样板中级别一致的两块为准。

4. 漆膜抗石击性能测定法

（1）范围

本方法规定了漆膜抗石击性能的检测方法，模拟了在实际应用中漆膜经过碎石多次冲击作用的情况。适用于对涂层性能的概括性的鉴定。

（2）规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的 改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，

CS CamScanner

其最新版本适用于本标准。

GB/T 1727-1992 漆膜一般制备法；

GB/T 9278-1988 涂料试样状态调节和试验的温湿度法；

GB/T 13452.2-1992 漆膜厚度测定法。

（3）材料与设备

a）石击仪：德国ERICHSEN生产的STEINSCHLAGPRUFGERAT 508。

b）钢丸：带棱角，（4~5）mm大小。

c）胶带：3M透明胶带，80 mm宽。

d）电子天平：量程0~1 000g，精确度0.001 g。

（4）底板的处理和涂装

按GB/T 1727-1992和电泳漆膜制备法的规定在规定的底板上制备漆膜。

（5）试板的干燥

除另有规定外，样板应按产品标准规定的干燥条件和时间干燥，然后按GB/T 9278-1988规定的恒温恒湿条件进行 状态调节。

（6）漆膜厚度的测定

除另有规定外，干漆膜厚度按GB/T 13452.2-1992规定的方法进行。

（7）程序

a）将石击仪接到压缩空气管道上或接到压缩空气瓶上。将检测的油漆样板，以待测面朝向石击仪碎石流出口，并固定在夹具架上，旋紧。

b）打开压缩空气导管的阀门，并将放出的气流由减压阀调到压力计显示压力0.2 mPa或0.1 mPa。

一般情况下，用于对整个复合涂层进行石击冲击试验，冲击压力为0.2 mPa；用于底漆对底材、烘干型中涂对底漆；面漆或金属底

漆与罩光漆的检测时，冲击压力为0.1 mPa。

c）称取500g带棱角的钢丸，将其均匀地装入漏斗中。在这里钢丸由气流聚集起来并喷到检测面上。此后把压缩空气阀门关闭，钢丸收集在集料漏斗中。

d）根据需要，将c）步骤重复进行一次。

注：在大约10次以后（可用手动或自动计数器记录），所使用的钢丸一般要用新的钢丸来代替。但更换钢丸绝不要在一连串的对比试验之中进行。

e）对击伤的表面要用一条为（12~15）cm长的胶带完全贴牢，并压紧（可用塑料刮板或凸轮等加压），将剩余的尾部胶带朝上弯折。然后，沿检测板垂直方向猛力撕扯胶带，把漆膜已经受损部分从涂层表面带下来。

（8）评级

对石击后的样板鉴定是损伤到中间层还是损伤到底层，并且必须加以具体表述。通过表9-3说明，每种石击后样板所确定对应的特性类型。如果结果不能准确地对应，则可用“特性类型X—Y”来表达（例如结果可表示为特征值1—2）。

附录A中特性值为抗石击特性类型1级~10级的标准图片，由此可决定被测样板的抗石击特性值。

表9-3　漆膜抗石击性能评级标准

体积—重量分析的比值（%）	按面积脱色分析值（%）	特性类型
0.5	2.0	1
2.0	5.0	2
5.0	10.0	3
7.0	20.0	4
10.0	30.0	5
20.0	40.0	6

续表

体积、重量分析的比值（%）	按面积的比色分析值（%）	特性类型
30.0	50.0	7
50.0	65.0	8
70.0	80.0	9
90.0	90.0	10

注：对电泳底漆评价标准：一般≤4级为合格。



电泳涂装的“三废”处理技术

当今世界各国对汽车及各种产品的涂装过程和涂膜质量的环保要求很高，如汽车涂装过程满足不了环保要求，汽车涂装系统不允许运行，也就不存在涂装质量；汽车及各种产品涂层满足不了环保要求，生产的产品就不能在世界上流通、销售。涂装车间是一个耗能耗水的大户，同时也产生大量的废水废气废渣，统称为“三废”。在谈到涂装车间的“三废”治理时，我们不能仅仅考虑涂装车间产生的“三废”如何处理，同时应考虑如何减少“三废”的产生和“三废”中有害物质的量。

第一节　涂装车间“三废”的来源

全世界每年排入大气中的有机溶剂有数千万吨，其中约20%以上为涂装行业所为。2014年我国涂料产量为1648.2万吨，水性建筑约占39%，粉末涂料占9%，除去其他产业的水性涂料，有机溶剂型

涂料大约占40%以上，仅溶剂型涂料及施工一项VOC排放量达300万吨以上。按国内现用有机溶剂漆，轿车三涂层涂装，每平方米涂装面积有机溶剂排放量达150g/㎡。仅在各层采用水性涂料及有机溶剂型罩光漆的场合才能满足欧美环保要求（见图10–1）。

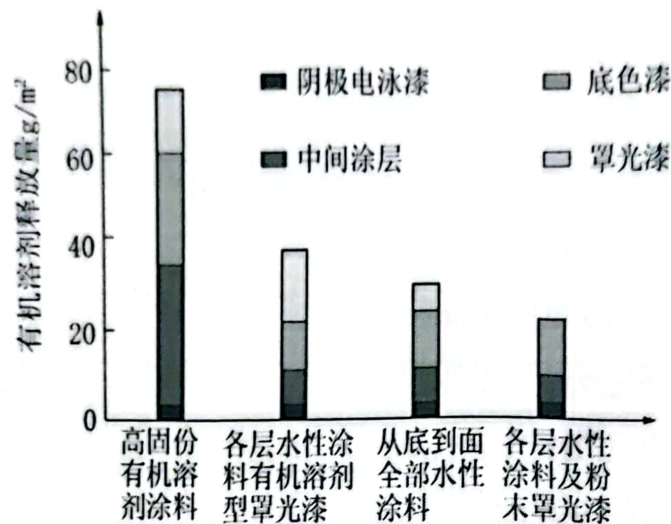


图10–1　各种汽车配套涂层的溶剂释放量

涂装车间是耗能耗水大户，按涂装面积算耗水10～20L/㎡，大多数成为要处理的废水。

涂装车间的废渣主要是喷漆室过喷的油漆、电泳槽沉渣、磷化沉渣，多采用填埋方式处理，占用地方且不易降解。

1. 涂装车间废水的来源

1）预处理脱脂槽的溢流水。

2）预处理脱脂槽的废脱脂液。

3）预处理水洗工序中的溢流水。

4）预处理水洗工序中的废水。

5）磷化槽的清槽维修废液。

6）预处理酸性废液和清槽清洗废液。

7）电泳后水洗废水。

CamScanner

8）排放的电泳UF液。

9）制水设备再生液。

10）超滤设备清洗废水。

11）阳极液排放废水。

12）电泳槽清洗废水。

13）溢出的涂料。

14）过滤袋清洗废水。

15）喷漆室下过喷涂料凝聚用的循环水。

2. 涂装车间废气的来源

1）前处理及电泳设备内的排气。

2）喷漆室及晾干间的排气。

3）烘干室的排气。

4）调漆间的排气。

5）涂装厂房换气。

3. 涂装车间废渣的来源

1）磷化残渣。

2）喷漆室过喷的漆渣。

3）前处理各槽的淤泥。

4）清理电泳槽的沉淀。

5）各种包装材料。

CamScanner

第二节 有关“三废”及环保的标准

一、国家污水排放标准

表 10-1 第一类污染物最高允许排放浓度（GB8978）

污染物	最高允许排放浓度（mg/L）
总汞	0.05
烷基汞	不得检出
总镉	0.1
总铬	1.5
六价铬	0.5
总砷	0.5
总铅	1.0
总镍	1.0
苯并（a）芘	0.00003

表10-2 第二类污染物最高允许排放浓度 （mg/L）

标准分类 / 规模 / 标准值 / 污染物	一级标准		二级标准		三级标准
	新扩改	现有	新扩改	现有	
pH值	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9
色度（稀释倍数）	50	80	80	100	-
悬浮物	70	100	200	250	400
BOD	30	60	60	80	300
COD	100	150	150	200	500

续表

标准分类 / 规模 / 标准值 / 污染物	一级标准		二级标准		三级标准
	新扩改	现有	新扩改	现有	
石油类	10	15	10	20	30
氰化物	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0
氟化物	10	15	10	15	20
磷酸盐（以P计）	0.5	1.0	1.0	2.0	—
铜	0.5	0.5	1.0	1.0	2.0
锌	2.0	2.0	4.0	5.0	5.0
锰	2.0	5.0	2.0	5.0	5.0

二、各国涂料（涂膜）环保标准要求

重金属化合物主要来源于涂料生产用原材料中的颜料和某些助剂。铅、铬、镉、汞等有害重金属元素，对人体危害明显，会对人体的造血系统、肾、神经系统等产生严重影响，且具有累积性。在涂料及涂料用颜料的生产过程中，废弃涂料的处理过程中产生的含有有害重金属元素特别是含铅的废水、粉尘会对水生资源及环境质量产生极大的破坏作用，经过食物链的生物放大作用会进一步危害人体健康。报废汽车回收时容易造成二次污染，引发环境问题。目前国内外都对于人体接触的产品中铅含量作了严格限制，欧盟于2003年2月13日公布了第2002/95/EC号指令（ROHS指令，见表10-3），其中规定了禁止出售和使用含有铅、镉、六价铬、汞等重金属的产品。

表10-3　各国涂料（涂膜）环保标准要求

地区	Pb	Cr	Hg	Cd
美国（mg/kg）	<90	<5	<2	<5
日本电协	<100	<100	<100	<5
欧盟（ppm）	<1 000	<1 000	<1 000	<100
中国（ppm）	<1 000	<1 000	<1 000	<100

GB24409-2009《汽车涂料中有害物质限量》已于2009年9月30日发布、2010年6月1日实施。其目的是减少汽车涂料对人体健康危害和对环境的污染，是当今环保的需要，也是向环保社会发展的具体体现。该强制性标准的实施有效降低了汽车涂装过程中挥发性有机化合物（VOC）排放，严格控制了毒性较大的苯、乙二醇醚类、重金属等化学物质的使用，在保护环境和人体健康方面发挥了重要作用。由上表可知，GB24409与ROHS指令限量要求一致。显然按照此标准要求生产的汽车及各种电器产品是不能进入美国、日本市场的。因此，涂料厂一般按照国际最严格的环保标准要求进行生产。

由于现涂装线采用液态涂料居多，因此国内外涂装线尤其汽车涂装线均采用水性涂料来代替。国外一些汽车用罩光漆甚至采用了粉末罩光涂料。据不完全统计，到2008年国内大部分合资的汽车企业根据其国外公司的模式，其涂装材料和工艺几乎与国际同步，普及了阴极电泳、水性中涂漆和水性底色漆的应用（详见表10-4）。国内的一些非合资的汽车公司，也纷纷效法采用了水性涂料。近几年来，我国汽车制造行业又相继建立了近20条水性涂料涂装线，如上海通用、沈阳北盛、一汽大众、上海汽车、奇瑞汽车等单位多条水性涂料涂装线相继投产，汽车行业率先开创涂料水性化，为其他行业推广应用起到示范作用。

CamScanner

表10-4　国内使用水性涂料工厂

集团名称	工厂名称	涂装线数	车型	中涂漆	底色漆
GM	GM上海	2	轿车	溶剂型	水性
	GM山东	1	轿车	溶剂型	水性
	GM沈阳	2		水性	水性
HONDA	1工厂	1	轿车	水性	水性
	2工厂	1	轿车	水性	水性
	武汉	1	轿车	水性	水性
TOYOTA	天津	2	轿车	溶剂型	水性
	长春	3	轿车	水性	水性
	广州	1	轿车	水性	水性
NISSAN	花都工厂	2	轿车	溶剂型	水性
HYUNDAI	北京1工厂	2	轿车	溶剂型	水性
	北京2工厂	1	轿车	水性	水性
DC	北京工厂	1	轿车	水性	水性
KIA	盐城	2	轿车	水性	水性
SAIC	新上海工厂	1	轿车	水性	水性
JAC	2工厂	1	轿车	水性	水性

第三节　“三废”治理的措施

总的说来“三废”治理的措施可归纳如下：

1）减少涂装材料中有害物质的含量。

2）减少废水、废气、废渣的排放量。

3）对排放出的“三废”中的有害物质进行处理，达到“三废”的排放标准。

一、减少涂装材料中有害物质的含量

（1）脱脂

a）非离子型、低泡、高清洗能力可生物降解表面活性剂（不使用含APEO烷基酚-乙氧基化合物）。

b）不含硅酸盐，对镀锌板无腐蚀性。

c）无磷脱脂剂，降低封闭海域富氧化。

d）液体脱脂剂。

e）设备改进，如超滤、袋式过滤器加磁棒。

（2）表调剂

液体表调，更高稳定性，含Ti浓度较低，有利于铝材成膜及槽液寿命

（3）新型磷化技术

a）复合金属的磷化。镀锌钢板、镁、铝等。

b）常、低温磷化。由50° 降为40° ，可以节能26%，减少磷化过程中的沉渣。

c）无亚硝酸钠的磷化。

d）无镍磷化；镍可有效提高二次附着力。我国镍的排放标准为1mg/L，德国不超过0.5ppm。

e）预涂钢板磷化。

f）综合处理，减少工艺步骤。

（4）无铬钝化

铬系钝化存在：

a）六价铬有剧毒，可致癌，废水中允许排放量为0.05mg/L。

b）增加了将六价铬转化为三价铬的成本。

c）对新建厂得到政府批准方面有困难。

目前欧美汽车厂已采用无铬钝化产品，无铬钝化产品是在氟化

CamScanner

锆的基础上研制成功的，在单边盐雾腐蚀及附着力方面与含铬产品质量相当。

（5）其他

a）六氟化锆为主要成分的钝化液。

b）氧化锆转化膜剂。

c）硅烷复合处理剂。

d）阴极电泳漆无铅化、减少有机助溶剂、减加热减量值、降低烘干温度。

二、减少“三废”排放措施

1. 减少废液排放的措施

前处理生产线是涂装车间耗水量最大的设备，为了降低水耗，涂装线设计及管理人员想尽千方百计以减少水耗。逆工序补充清洗液，减少了工业水的补加量，同时也是减少废水的排放量。在磷化后纯水洗中引入RO设备，减少清洗水的排放量。

图10−2和图10−3涂装前表面处理液体流程图，显示了涂装前表面处理设备液体的流向。

工业水 纯水
纯水
预脱脂（喷）
脱脂（浸）
水洗（喷）
浸洗
表调（浸）
磷化（浸）
水洗（喷）
水洗（喷）
纯水洗（浸）
纯水洗（喷）
溢流
溢流
溢流
P
RO
油水分离器
油污

前处理节水技术
1. 逆工序补水法；2. RO纯水再循环应用

图10−2 涂装前表面处理液体流程

CS CamScanner

1）清洗液逆工序补充。

2）在脱脂液处理中加入UF设备，排除油污及表面活性剂，回收碱液补充表面活性剂后继续使用。

3）采用长寿命表调剂，延长表调剂更换周期。

4）在磷化后纯水洗中引入RO设备，减少清洗水的排放量。

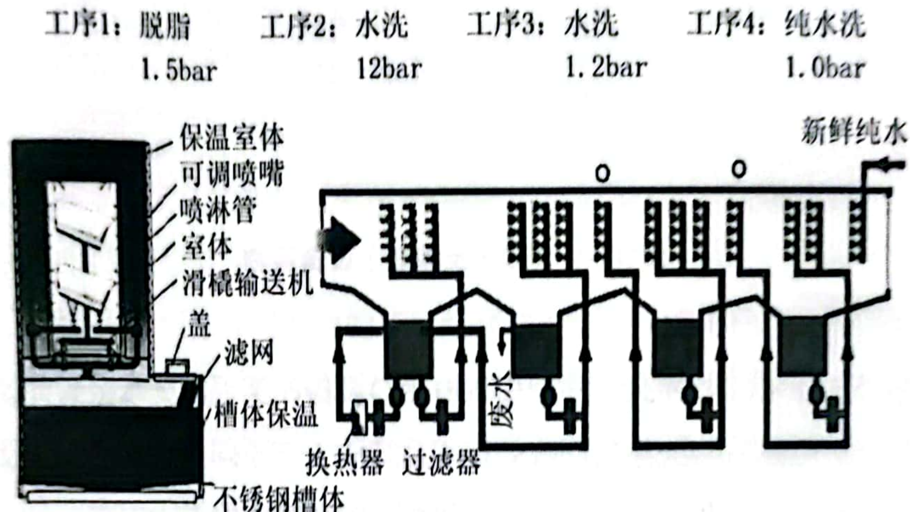


图10-3　涂装前表面处理液体流程

在前处理线最后采用了纯水浸洗和新鲜纯水喷淋，要求浸洗纯水的电导不超过25us/cm，而工件的滴水电导不超过50us/cm，在此排出的浸洗纯水的电导大大的低于工业用水的电导，因此在前处理线最后的纯水浸洗槽，采用RO（反渗透）设备再生循环纯水。涂装车间也采用RO设备来制造纯水。图10-4 为RO（反渗透）设备实物照片。

CS CamScanner

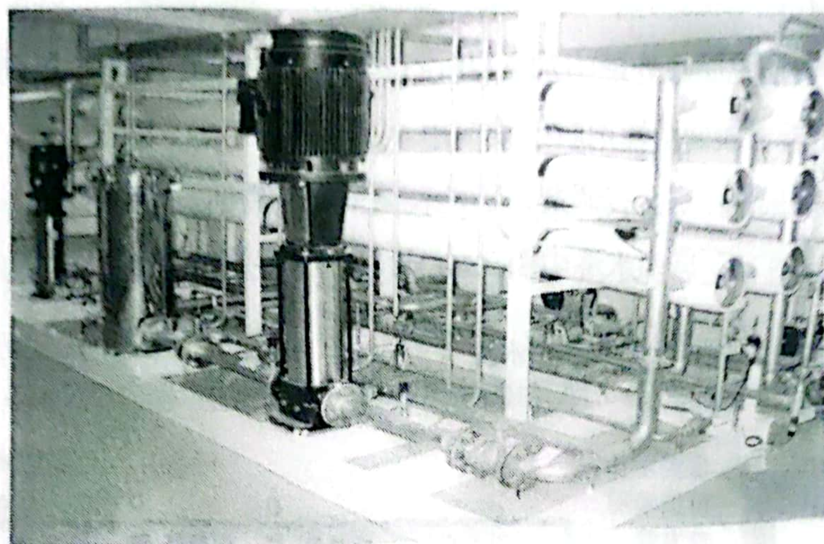


图10-4　RO（反渗透）设备实物

5）在电泳后冲洗工序中引入EDRO设备，实现清洗水全封闭。

6）电泳后冲洗涂料回收效率视后清洗工艺不同而异。

涂料回收率＝［1－（最后回收水NV/槽液NV）］×100%

一般UF水洗系统的回收率：95%～97%，UF水洗+EDRO系统的回收率：98%～99%，更大的UF能力，有利于提高涂料的回收利用率。

2．减少废渣的措施

1）采用无渣或低渣的前处理材料如低锌磷化、氧化锆膜处理技术、硅烷复合膜技术。

2）采用新的涂装技术，提高涂料利用率，减少废漆渣。

三、涂装系统的“三废”处理

1．废气处理

随着对环保的要求越来越高，近几年对烘干室的废气处理引起了足够重视。烘干室废气处理的方式主要是焚烧法，单独设置一套焚烧系统。

如何正确选择废气处理装置，首先要知道废气燃烧的基本条件，废气燃烧的基本条件有3点：

燃烧温度：应在720~760℃，温度低了有机废气是不能完全氧化分解的。

停留时间——废气在炉内停留的时间应在1s以上，否则，燃烧不完全。

空气需量——空气进入过多则浪费燃料，进入过少则燃烧不充分。

烘干室废气焚烧装置有两种类型：直燃式及蓄热燃烧式。

（1）直燃式（TAR）

烘干室（图10-5）内的废气经风机送入焚烧炉的预热器进行热交换，使其温度升至350℃以上，经文丘里式混合通道进入炉膛火焰区进一步升温，在720~760℃温度下，废气中的有机物被分解。热气经风机送入烘干室供热的热交换器（图10-6）。

TAR燃烧炉是一种以天然气为热源的燃烧炉，并与VOC废气净化燃烧装置合二为一的焚烧炉。从烘干室排出的160℃含VOC的废气，经焚烧炉的废气热交换器加热到500℃左右，再经过燃烧喷嘴四周与天然气一道喷燃，燃烧室内温度达760℃左右。此时废气中的VOC在760℃可完全净化，VOC和CO的含量降低。燃烧后的760℃烟道气经废气热交换器降温到450℃，供给烘干室多个热交换器加热烘干室的循环空气。最后经换热器加热供烘干室的新鲜空气，然后排出。

图10-7为贵航的一个汽车厂的电泳烘干室废气处理的流程图，据介绍在采用直燃式（TAR）烘干室废气焚烧装置以后，天然气的使用量节约了20%。

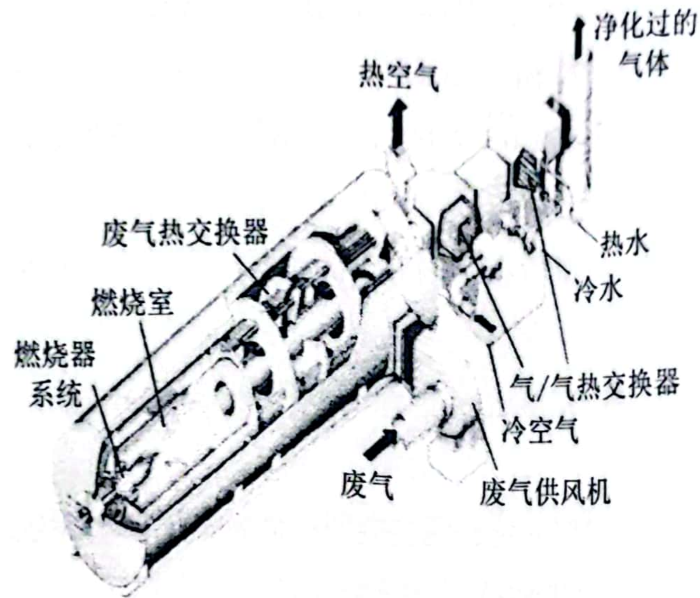


图10-5 直燃式（TAR）烘干室废气焚烧装置

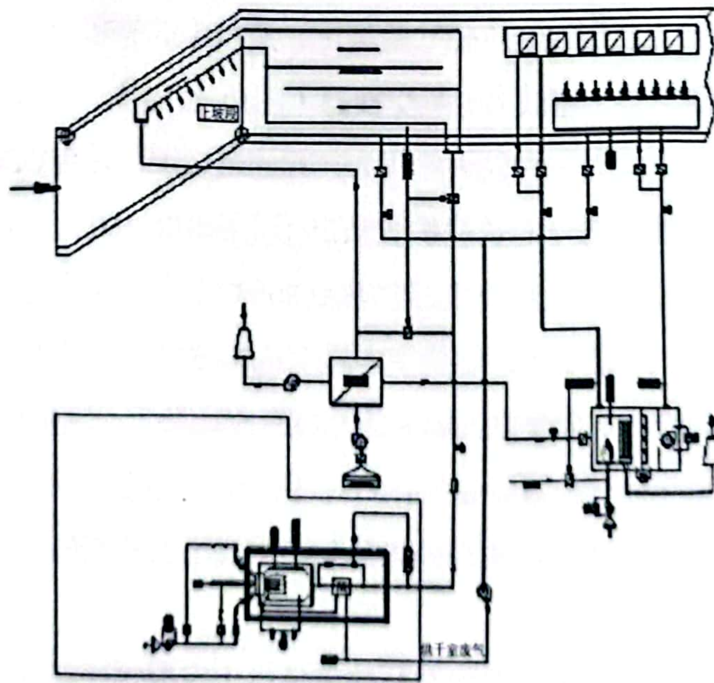


图10-6 直燃式（TAR）烘干室废气焚烧装置示意

涂装车间烘干室燃烧炉一般排烟尾气温度约200℃，这部分烟气未经利用直接排空，存在很大的浪费。可以利用余热回收器回收

烟气热量，回收的热量加热前处理预脱脂、脱脂、磷化槽液，减少蒸汽消耗量，节约能源，降低生产成本。图10-8所示为奇瑞汽车股份有限公司涂装车间在烘干炉的新增旁通烟管处安装一台余热回收器，烘炉所排放的烟气温度降低至100℃左右进行排放，在余热回收器内与温度60℃的工艺回水进行热交换，加热至75℃左右去前处理加热槽液使用。系统由余热回收器、电动调节阀、板式换热器、钢结构支架、控制柜、水管管网、不锈钢保温水箱、循环水泵（一备一用）、各类阀门及仪表等组成。

使用该系统后，预脱脂槽液加热保温在（52±2）℃，热水进水、回水温差保持在10 ~15℃，在正常生产过程中基本无需蒸汽加热，有效减少了蒸汽消耗。

当进出口温差12℃，每小时可回收蒸汽0.62t，以每月23个工作日、每天生产16h、单吨蒸汽142元计算，每年可节约39万余元。

图10-7　烘干室废气及处理技术

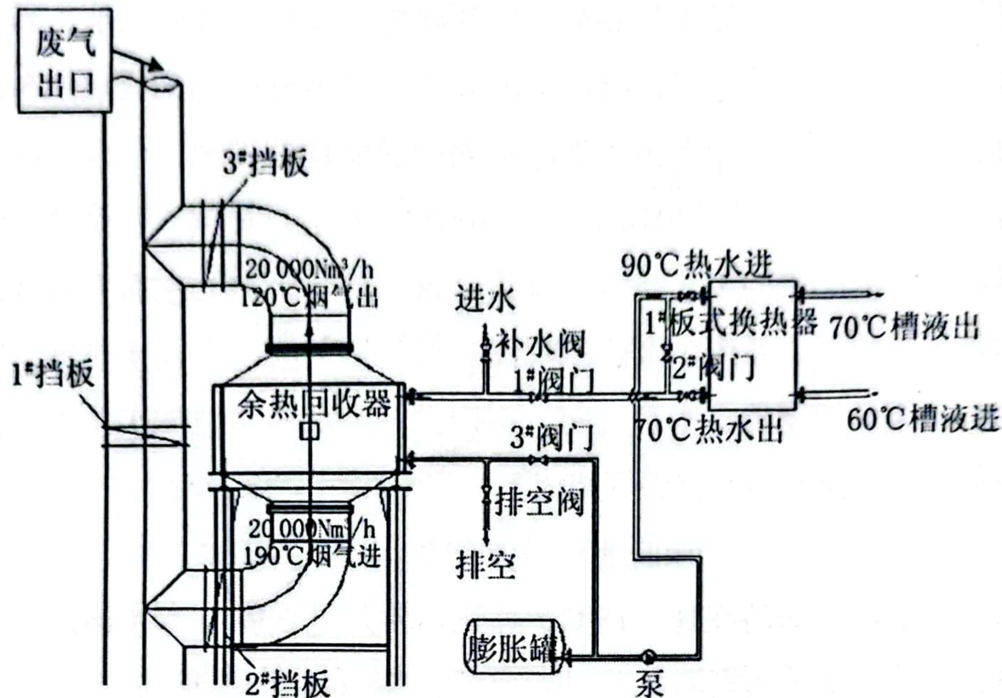


图10-8　余热回收器安装示意

（2）蓄热式（RTO）烘干室废气焚烧装置

蓄热式氧化法（regenerative thermal oxidation，简称RTO）RTO利用高效蓄热材料（如陶瓷），通过废气气流的程序切换，将燃烧废气的废热贮存在蓄热材料中，用于下一阶段进入的废气预热，提高废气进气温度，与天然气在燃烧室进行充分的混合、燃烧，生成CO_2、H_2O。燃烧温度可达760～800℃，逗留时间约1s，有机废气的处理效率可达99%，废热回收效率可达95%以上，运行能耗较低。

焚烧系统是由陶瓷蓄热床、燃烧室及控制系统组成。其工作原理是：燃烧室产生的高温气体热量预留在蓄热床内，烘干室来的有机废气，先在蓄热床预热，当废气温度超过760℃时即在燃烧室内发生氧化反应，生成二氧化碳和水，废气得到净化（见图10-9）。

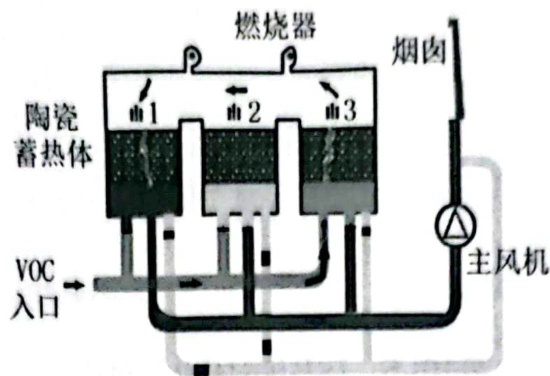


图10-9 蓄热式（RTO）烘干室废气焚烧装置

蓄热式焚烧装置废气处理量最大，为10 000～40 000 m^3/h，且可处理低浓度的废气，废气处理较彻底，净化率达98%。又可使能源得到最大限度的回收，回收率达95%，处理废气时不用或很少使用燃料。在烘干室废气燃烧的热量不回收时，是很有应用价值的（图10-10）。

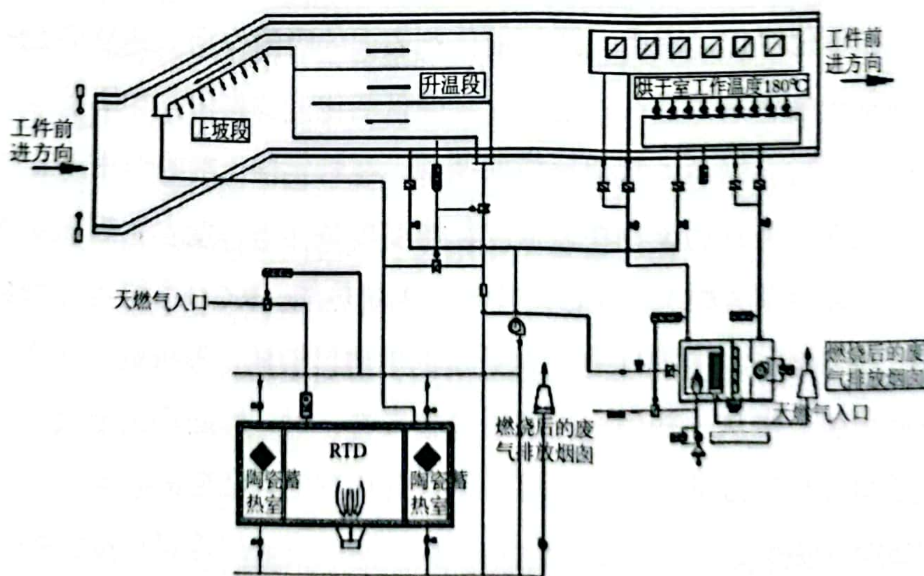


图10-10 典型的RTO燃烧室流程

直燃式废气焚烧，废气处理量为1 500～20 000m^3/h，消耗燃

CamScanner

料量也大，0.02m^3（天然气）/m^{3}h（废气）。但废气焚烧后产生的热量可回收再利用，回收率可达90%，且设备价格较蓄热式低20%～30%。

现以处理废气量 10 000m^3/h为例，将TAR与RTO两种废气处理对比如下表10-5。

表10-5　TAR与RTO处理对比

名称	蓄热量（kcal/h）	利用率（%）	消耗量（kcal/h）	燃气量（m^3/h）	设备价格
TAR	160万	90	16万	20	低20%～30%
RTO	15万	95	0.75万	1	高

（3）RCO蓄热式催化氧化法

蓄热式催化氧化设备（RCO）一般采用钯、铂作为催化剂，可将大多数有机废气的氧化温度降到315℃左右，该催化燃烧系统较适用于采用电加热的场合，目前存在的问题是避免催化剂中毒失效。

在催化氧化过程中，通过催化剂表面的吸附作用，使反应物分子富集于催化剂表面，通过催化剂降低活化能的作用，加快了氧化反应的进行，提高了氧化反应的速率。在特定催化剂的作用下，有机废气中的有机污染物在较低的起燃温度条件下，发生无焰氧化燃烧，氧化分解为CO_2和H_2O，并放出大量热能。RCO系统与传统的RTO系统相比，具有工作温度低、助燃燃料消耗少等特点，经济上更具优势。但从一些用户的使用经验来看，对一般面漆烘干废气，通过增加废气过滤等措施，可以保证催化剂的寿命在3～5年，而电泳漆烘干废气，容易引起催化剂中毒，所以对电泳漆烘干废气的处理，催化燃烧方式应谨慎使用。

CamScanner

表10-6 3种"废气"处理的优缺点对比

名称	废气处理最大流量（Nm^3/h）	处理效率（%）	废热回收率（%）	设备投资	缺点	综合评价
RTO蓄热式氧化法	10 000～40 000	99	90	高	设备投资大，不适用产量较小生产线	较好
TAR直接燃烧法	1 500～20 000	99	95	较高	设备投资较大	好
RCO蓄热式催化氧化法	7 500～12 000	99	99	高	催化剂易中毒，处理含复杂成分废气时效果不理想	较差

2. 涂装系统的废水及处理

现在一些规模较大的公司都有集中的废水处理场和设备，有些单位会要求涂装车间的废水处理省略，而把涂装车间的废水直接送到污水处理场。实际上涂装车间的废水在涂装车间附近不进行一级污水处理，是不可能送至污水处理场的。某汽车公司曾按照上面的设想进行考虑，由于碱性的脱脂废水与酸性的电泳漆废水混合而使电泳废水中的树脂析出黏附在废水输送管道，造成管道堵塞。因此必须在涂装车间对污水进行处理。

在落实广东科德环保科技股份有限公司的污水处理的时候，我们曾经做了如下的试验。

（1）试验部分

a）污水样品的准备。将阴极电泳涂料经过纯水稀释50、100、200倍，模拟不同条件下产生的不同固含的污水。

b）不同稀释比例的样品试验现象。为了更好地观察现象，样品分别装在不同的玻璃烧杯中，分别加入0.1m NaOH溶液调整pH值8～9，再观察变化，结果见表10-7。

表10-7 不同条件下产生的不同固含的污水水质

	稀释倍数	pH	电导率（us·cm）	固体分（%）
阴极电泳涂料	50	6.32	356	0.72
	100	6.41	204	0.36
	200	6.53	168	0.18

从以上数据来看，固体含量高的中和后树脂加碱沉降的比例较大，固含越低沉降比例越小。这就说明废水中固体含量越小，使用碱中和沉降的效率越低。将中和沉降过的样品过滤，将较大的絮凝物和沉渣除去，减少沉降时间。将过滤后的样品加入适量的明矾或者硫酸铝后再加石灰水，再观察变化（如表10-8）。

表10-8 不同稀释倍数样品加NaOH溶液后的变化状况

	稀释倍数	电导率（us·cm）	上层液固体分（%）	样品外观
涂料样品	50	432	0.28	颜色变浅
	100	296	0.18	颜色不变
	200	213	0.12	颜色不变

从表10-9的数据来看，所有样品在加入硫酸铝和石灰水后，有机物和无机物基本都沉降了。这就说明胶状物对废水中微粒悬浮物

表10-9 加入硫酸铝和石灰水后样品的变化情况

	稀释倍数	电导率（us·cm）	上层液固体分（%）	样品外观
涂料样品	50	634	<0.01	沉渣深灰色，上层液无色透明
	100	458	<0.01	
	200	362	<0.01	

CamScanner

的吸附和悬浮物本身的浓度关系不大。

将最后处理过的样品进行再过滤，缩短了沉降时间，得到了比较清澈的液体。此时样品所含的有机物大分子和杂质的量已经达到一个极低的值，但为了环保方面的考虑，必须再经过一道沙石过滤的步骤进一步除去污染物。

广东科德环保科技股份有限公司的阴极电泳涂料废水处理过程如图10-11：

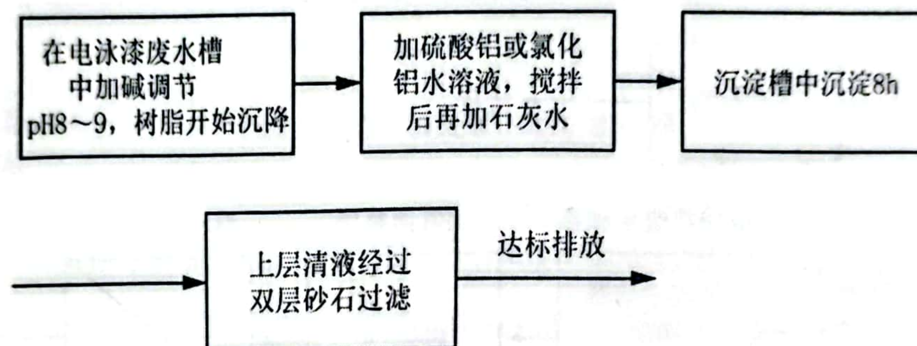


图10-11　阴极电泳涂料废水处理过程

表10-10　涂装系统的废水及处理操作法

分类	处理对象物		适用操作法	
浮油物质	粗大的固体物 沉降性浮游物 漂浮性浮游物 胶体性浮游物	粗沙、尘埃 细沙、泥 油、漆渣 重金属的氢氧化物	过滤法 沉淀法 浮上分离 凝集沉淀法	↑ 一次处理 ↓
溶解性物质	水乳化油	脱脂废水	凝集上浮法（酸分解） 吸附处理	↑ 二次处理
	溶解性无机物	重金属类 铬酸、氰、氟离子	中和、pH调整法 还原、凝集、吸附、离子交换、蒸发、反渗透	↑ 三次处理
	溶解性有机物	BOD、COD源、表面活性剂、酚及其他	生物分解、吸附分解、反渗透	
淤渣		凝集沉降的淤浆污泥	浓缩、脱水干燥	

我们曾经对美国大众涂装车间的一级污水处理设备进行过考察，该公司的污水处理过程如图10-12所示。

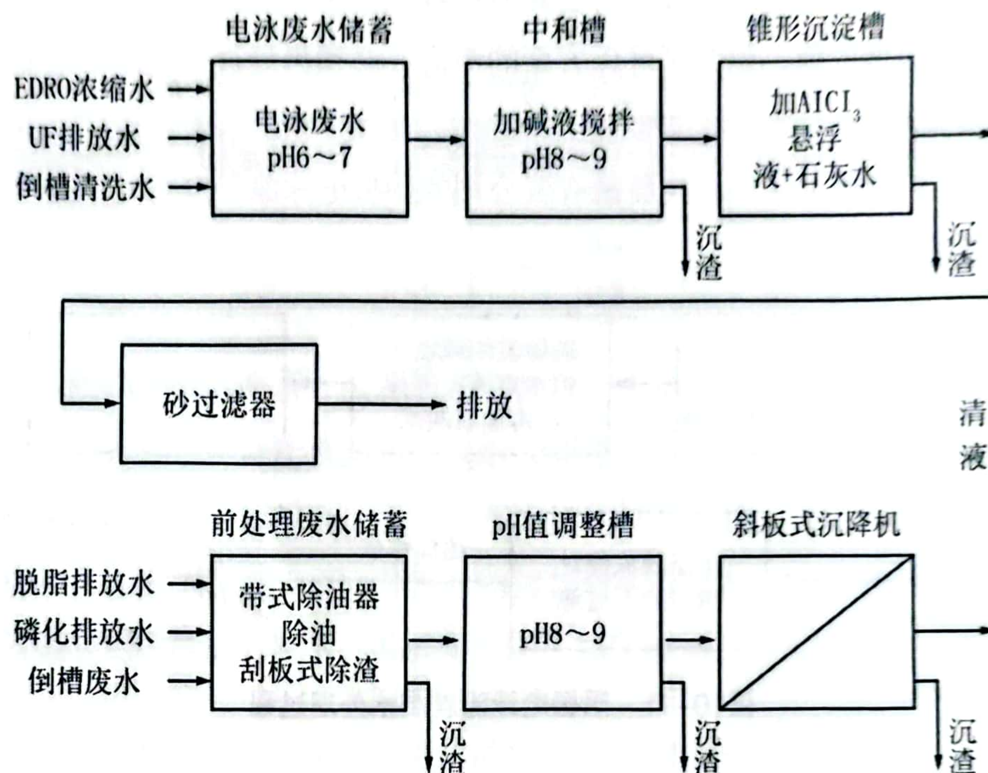
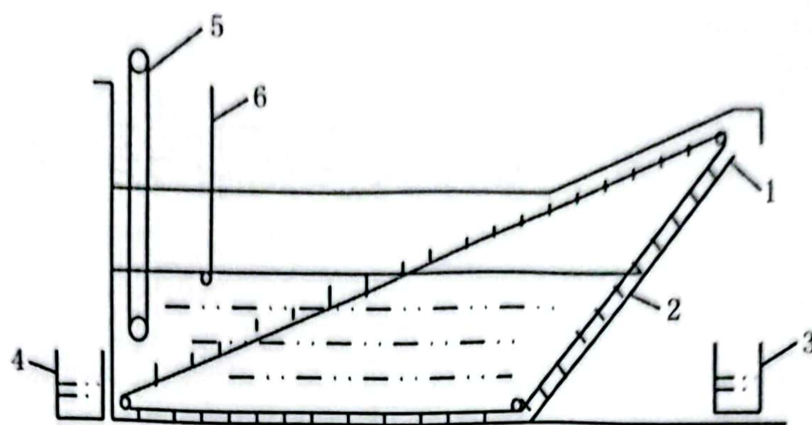


图10-12　国外公司前处理阴极电泳线废水处理过程

前处理的废水集中到图10-13所示结构的一个槽体中，随着碱性含油废水与酸性的磷化废水混合，前处理的废水pH值上升，锌、锰、镍、钙等磷酸盐形成沉淀。油浮在液面上由一个不断旋转的带式吸油器将油吸起并由刮板刮到储油槽。沉渣则沉到槽底定期的开动履带式刮板机将沉渣刮到储渣槽。



1.刮板除渣机；2.脱脂液储槽；3、4.储渣槽；
5.吸油器；6.浮子液位计

图10-13 前处理的废水集中槽

经过上述流程处理过的废水已清澈见底，但是它的化学耗氧量和生物耗氧量均不合格，还需送到公共的污水处理场进行再处理。

（2）“三废”治理水循环再利用技术

现在大多数涂装车间都具备一级污水处理设备，但处理后的水质仍然达不到排放标准，需要进一步进行处理。

某汽车集团公司具备每天处理10万吨污水的处理场，经过该场处理的废水称为中水，用于厂区的花木灌溉及公园的池塘补充水，同时采用RO设备将部分中水制造成纯水，用于热电厂的锅炉用水。

3. 磷化沉渣的利用

1）利用磷化残渣生产复合碱液，用于喷漆的零件的清洗。

原理 $FePO_4+3NaOH=Na_3PO_4+Fe(OH)_3$

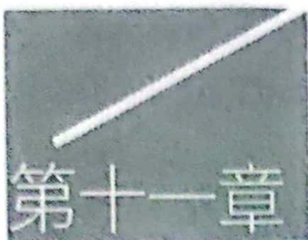
按碳酸钠、氢氧化钠、磷酸钠固体含量为8：4：3 配成浓碱液用于配制脱脂液。

2）掺入制造建筑材料砖中。

3）国外有用于提取其中的锌，制造锌的化合物或金属锌。

4）资料介绍有利用磷化沉渣制造颜料和处理废水的凝聚剂。

CamScanner



第十一章 电泳涂装应用实例

电泳涂装因其具有高效、优质、安全、经济等优点，在机电产品及所有五金家电等金属件涂装上已获得广泛的应用。特别是复杂的汽车车身的涂装中，在世界范围内几乎都采用电泳涂装底漆。

第一节 汽车涂装

机电产品涂装主要包括汽车、农机、机床及电器产品的涂装。机电产品，一般在行业范围内，都制定了符合本行业产品的涂层标准，例如汽车的涂层就执行QC/T484-替代JB/Z111—86“汽车油漆涂层”，工程机械的涂层执行部标准“JB/T5946 工程机械涂装通用技术条件”等。而且，各个企业本身也有企业标准，在国外，企业标准的要求往往高于行业标准。在这些标准中，要求防腐蚀条件非常高，只有通过阴极电泳涂装才能很好地满足要求。

汽车涂装一般是指轿车、客车、载货汽车等各种类型汽车车身

CamScanner

及零部件的涂装，还包括部分农机产品，例如农用汽车、拖拉机以及摩托车的涂装，因为它们的使用条件和涂装工艺与汽车相仿。

汽车涂装已有70多年的历史，其发展过程（见表11-1）。

表11-1　汽车车身涂装发展史

阶段	阶段名称（主攻方向）	所用涂料	涂装前处理	涂装方法	干燥方法	人工劳动（工时/台）
第一阶段（1930年前）	原始阶段	油性漆等自干型涂料	手工擦洗	手工刷漆、刮腻子	自然干燥	80～20
第二阶段（1930—1946年）	手工喷涂阶段（适应产量和快干燥施工需要）	汽车喷涂用漆（硝基漆、酚醛或醇酸合成树脂涂料）	碱液清洗	手工喷涂	自然干燥和烘干	20～5
第三阶段（1946—1963年）	提高汽车涂层质量阶段（提高涂层的装饰性、耐湿性和底板的耐腐蚀性）	浸用合成树脂底漆和水性底漆、氨基面漆、热塑性（1958年）和热固性丙烯酸面漆（1963年）	磷化处理喷射式（1947年）和转动浸喷式（1950年）	拖式或转动浸涂底漆、手工喷涂、静电喷涂（空调喷漆室）	烘干、湿碰湿烘干工艺	5～3
第四阶段（1963—1974年）	电泳涂装和自动喷涂阶段（节省劳动力、提高焊缝、内腔的耐腐蚀性）	第一代阳极电泳漆和第二代高泳透力电泳底漆（1970年）、金属闪光色面漆	磷化处理薄膜化，几乎100%进行磷化处理	阳极电泳涂装、自动静电喷涂（程序控制）	烘干底漆采用辐射与对流结合方式	3

续表

阶段	阶段名称（主攻方向）	所用涂料	涂装前处理	涂装方法	干燥方法	人工劳动（工时/台）
第五阶段（1975年以来）	净化工程阶段（进一步提高耐腐蚀性、防止公害、节能、提高资源利用率）	阴极电泳涂料（1976年）厚膜阴极电泳涂料（1990年）、粉末涂料、高固体分涂料、水性中涂及面漆（1991年）等低公害性涂料	浸、喷结合式磷化处理、前处理废水回收利用，氧化锆膜、硅烷膜等新技术应用，环保型前处理材料的推广应用。	阴极电泳涂装（1976年）、机械手自动喷涂、高转速杯式自动静电喷涂（喷漆室排风能量回收）	烘干室废气燃烧净化热能综合利用	3以下

注：表中所列各阶段的新材料、新工艺、新技术是指该阶段有代表性的技术进步，括号中的年份为投产时间。

1. 汽车车身的涂装工艺

汽车车身，包括中、重、轻型载货汽车驾驶室及覆盖件、各种类型的轿车车身，乘用车身和大客车车身。它们是汽车外表装饰件，对涂膜的耐候性、外观装饰性、实用耐久性等要求很高。当今汽车车身的典型涂装工艺见表11-2。汽车车身电泳涂装工艺过程见表11-3。

表11–2 当今汽车车身的典型涂装工艺体系

涂装体系			2C2B（1）		3C3B			4C4B			5C3B		
适用对象			卡车、吉普、经济型轿车		中型、大众型轿车			高级轿车			超高级（豪华）轿车		
工序 \ 工艺条件 \ 面漆颜色			本色	金属色	本色	金属色	珠光色	本色	金属色	珠光色	本色	金属色	珠光色
涂装前表面预处理		中低温锌盐磷化处理	○（2）	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
底漆	阴极电泳	涂膜厚20μm或30～35μm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
底漆	烘干	175～180℃，20min	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
底漆	打磨	400#砂纸（局部）	根据需要										
头道中涂	涂膜灰或同色	涂膜厚35μm，W/W			○	○	○	○	○	○	○	○	○
头道中涂	烘干	140℃（3），20min			○	○	○	○	○	○	○	○	○
头道中涂	湿打磨	400#～600#			根据需要								

续表

涂装体系			2C2B（1）		3C3B			4C4B			5C5B		
适用对象			卡车、吉普、经济型轿车		中型、大众型轿车			高级轿车			超高级（豪华）轿车		
工序	工艺条件	面涂颜色	本色	金属色	本色	金属色	珠光色	本色	金属色	珠光色	本色	金属色	珠光色
二道中涂	涂膜灰或同色	涂膜厚35μm						○			○	○	○
	烘干	140℃，20min						○			○	○	○
	湿打磨	$600^{\#}$ ~ $800^{\#}$						○			○	○	○
头道面漆	涂膜本色	涂膜厚35 ~ 40μm，W/W	○		○			○			○		
	闪光底色	涂膜厚15μm（4），W/W		○		○	○		○	○		○	○
	罩光清漆	涂膜厚35μm		○		○	○		○	○		○	○
	烘干	140℃，20min	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	湿打磨	$800^{\#}$ ~ $1\ 000^{\#}$						根据需要			○	○	○

续表

涂装体系			2C2B（Ⅰ）		3C3B			4C4B			5C5B		
适用对象			卡车、吉普、经济型轿车		中型、大众型轿车			高级轿车			超高级（豪华）轿车		
工序	工艺条件	面漆颜色	本色	金属色	本色	金属色	珠光色	本色	金属色	珠光色	本色	金属色	珠光色
二道面漆	本色	涂膜厚35～40μm，W/W									○		
	罩光清漆	涂膜厚30～35μm							○	○		○	○
	烘干	140℃，20min							○	○	○	○	○
	抛光								根据需要				

注：1.C代表涂层，B代表烘干，3C3B为三涂层三次烘干。烘干温度为工件温度，烘干时间为保温时间。

2.“○”表示需执行的工序，W/W表示“湿碰湿”工艺。

3.中涂层烘干温度；水性中涂工艺规范为150～165℃，20min。

4.珠光闪光底色层膜厚较金属闪光底层厚，可达（20～30）μm。

表11-3 汽车车身电泳涂装工艺过程

序号	工序名称	处理（操作）方式	烘干工艺		备注
			温度（℃）	时间	
0	检查进入涂装车间的白车身质量，应无锈、表面平整等	目视	—	—	—
1	手工预擦洗不易洗掉的污物（如拉延油、密封胶、底漆等）	手工擦洗或高压水冲洗	RT①或70	1~2个工位	如果车身表面较清洁可不设本工序
2	进入预处理设备，去油，磷化				1. 各工序的工艺参数与所选用的表面处理材料的品种类型有关 2. 如果车身表面较干净，在产量小的场合，2.1工序可省去 3. 如果2.2工序采用具有表调功能脱脂剂，则2.5工序可省略 4. 低温磷化处理为40~45℃，中温为55℃左右，选用时应注意磷化膜与电泳底漆的配套性 5、2.9工序在欧美汽车厂仍采用，因 Cr^{6+} 公害，日本已取消钝化工序
	2.0 预清洗	喷	60±5	1min	
	2.1 预脱脂	喷	60±5	1min	
	2.2 脱脂	浸	60±5	3min	
	2.3 水洗	喷	RT	10~30s	
	2.4 水洗（浸入即出）	浸	RT	10s	
	2.5 表调（浸入即出）	浸		30s	
	2.6 磷化处理*（中温或低温）	浸	35~55	3min	
	2.7 水洗	喷	RT	10~30s	
	2.8 水洗（浸入即出）	浸	RT		
	2.9 钝化	浸或喷	RT	10s	
	2.10 循环去离子水洗	浸	RT	10s	
	2.11 新鲜去离子水洗	喷	RT	10s	
	2.12 烘干、热风吹干、冷却		100或70	5min	

CamScanner

续表

序号	工序名称	处理（操作）方式	烘干工艺		备注
			温度（℃）	时间	
2					6. 2.12烘干仅在需储存或涂溶剂型底漆场合采用，在电泳底漆前为节能在新设计的涂装线已淘汰
3	进入电泳涂装设备泳涂底漆 3.1 采用电泳涂装法涂阴极电泳底漆 3.2 电泳后清洗 3.2.0 在槽上用UF液或去离子水洗 3.2.1 用循环UF液冲洗 3.2.2 用循环UF液浸洗 3.2.3 用新鲜超滤液淋洗 3.2.4 用循环去离子水浸洗 3.2.5 用新鲜去离子水冲洗 3.3 晾干或吹干漆面的水滴	浸 喷 喷 浸 喷 浸 喷	(28±1) RT RT RT RT RT RT RT	3～3.5 min 10s 10～30s 10s 10s 10s 10s 3min	阴极电泳有薄膜和厚膜两种，一次泳涂干膜厚度为（20±2）μm称为薄膜，一次泳涂膜厚为30～35μm称为厚膜，与所选用的阴极电泳涂料有关
4	在175～180℃下烘干20min，强制冷却	热风对流	(175±5)	30min	20min为车身保温时间
5	技术检查，表面质量，干燥程度，膜厚	目测法	RT		干燥程度用溶剂擦拭法，膜厚用测厚仪

注：*现今磷化可以采用硅烷复合膜代替，同时取消表调。

CamScanner

2. 货厢及其部件的涂装工艺

货厢是指各种汽车的装货物的车厢。由于其结构和材质（全铁、铁木混合、木质或铝材）不同，涂装工艺和涂装标准也不同，一般要比驾驶室涂装要求要低一档，但轻卡和皮卡（pick up）车厢应与驾驶室要求相同，因此其钢铁部分也都采用阴极电泳涂装，其电泳涂装工艺过程与车身相同或略有简化（表11-4）。

表11-4　车厢及其部件的涂装工艺流程

序号	工艺类型 工艺名称	工序内容		
		甲	乙	丙
1	涂装前表面预处理	1. 热轧钢制件应喷丸或酸洗去除氧化皮和黄锈[①] 2. 采用喷射法进行去油和磷化处理 3. 烘干去除水分（电泳前可不烘干）	1. 热轧钢制件应喷丸或酸洗去除氧化皮和黄锈 2. 用白醇湿润的抹布手工擦洗被涂表面 3. 喷涂一薄层磷化底漆	1. 除净被涂物表面的灰尘及刨花锯屑
2	涂底漆	4. 采用电泳涂装法泳涂阴极电泳涂料（或阳极电泳涂料）或喷涂一道合成树脂防锈底漆 5. 烘干：电泳底漆160～180℃，30min，合成树脂底漆120～140℃，20min	4. 喷涂或刷涂一道自干型合成树脂防锈底漆 5. 在室温下自干16～24h	2. 喷涂一道醇酸树脂磁漆 3. 在85～90℃下烘干30～40min，或在室温下自干16～24h

续表

序号	工艺类型 / 工艺名称	工序内容		
		甲	乙	丙
3	涂面漆	6. 采用“湿碰湿”工艺喷涂两道氨基醇酸面漆，或喷涂一道较厚的醇酸树脂面漆 7. 在110～140℃下烘干20～30min	6. 喷涂一道自干型醇酸树脂面漆[3] 7. 在室温下自干10～16h或在100℃烘40min 8. 再喷涂一道自干型醇酸树脂面漆 9. 在室温下自干24h或在100℃下烘60～90min	4. 喷涂一道醇酸树脂磁漆 5. 在85～90℃下烘干50～60min，或在室温下自干24h
4	最后检查100%	涂膜应干透、均匀，不允许有露底、漏喷现象，外表面不允许有流痕		
适用范围		全铁车厢[2]和铁木混合车厢的金属部件	小批量生产的车厢件、重型载重汽车的货厢、自卸车的翻斗和槽罐	木质车厢和铁木混合车厢的铁木混合件

注：①热轧钢制件一般在冲压或组装前单独喷丸或酸洗。

②全铁车厢的空腔结构的内腔在涂装不完全的场合应进行防锈处理。

③也可选用双组份聚氨酯面漆。

CamScanner

3. 车轮、车架以及半成品的涂装工艺

车轮、车架、脚踏板、挡泥板、各种托架、箍带等汽车零件都是车下部件，使用条件苛刻，要求涂膜应满足QC/T484-1999《汽车油漆涂层》中TQ4的要求。

半成品是指发动机和底盘车桥、车厢上的各种冲压件、金属紧固件等，装配前涂装一般防腐蚀性涂层。

最早这些汽车零部件采用浸漆涂装工艺，后来采用阳极电泳工艺。由于汽车整体防腐蚀性能的提高，阳极电泳涂膜满足不了要求，故目前所有汽车这些零件几乎100%采用阴极电泳涂装（表11-5）。

表11-5　汽车车下零部件耐蚀性涂层常用的涂装工艺

类型 耐蚀性	特优级防蚀涂层 耐盐雾1 000h以上或循环交变试验60循环		优质级防蚀涂层 耐盐雾480h以上（TQ4）		
编号 工艺	NO.1 厚膜阴极电泳漆	NO.2 粉末涂装	NO.3 薄膜阴极电泳漆	NO.4 两道防锈漆	NO.5 水性自泳涂料
涂装前表面预处理	1. 预脱脂→脱脂 2. 水洗→水洗 3. 表调 4. 磷化 5. 水洗→水洗 6. 去离子水洗	涂装前表面预处理工序（1～6）与NO.1相同 7. 在100℃下烘干10min 8. 冷却	涂装前表面预处理工序与NO.1工艺相同	涂装前表面预处理工序与NO.2工艺相同	涂装前表面脱脂工序与NO.1工艺相同

CS CamScanner

续表

类型 / 耐蚀性	特优级防蚀涂层		优质级防蚀涂层		
	耐盐雾1 000h以上或循环交变试验60循环		耐盐雾480h以上（TQ4）		
编号 / 工艺	NO.1 厚膜阴极电泳漆	NO.2 粉末涂装	NO.3 薄膜阴极电泳漆	NO.4 两道防锈漆	NO.5 水性自泳涂料
涂装工序	1. 泳涂厚膜底面合一阴极电泳漆，干膜厚度30～35μm 2. 超滤液清洗2～3次 3. 去离子水洗 4. 在170～180℃烘干20～30min 5. 冷却、检查	1. 用手工或自动静电粉末涂装法喷涂一道环氧粉末涂料，干膜厚度≥40μm 2. 在180～190℃下烘干30min或高红外烘干5～10min 3. 冷却、检查	涂装工序与NO.1相同，仅为采用薄膜阴极电泳漆，干膜厚度（20±2）μm	1. 浸涂一道沥青或合成树脂底漆 2. 在180～200℃下烘干30～50min，冷却 3. 再浸涂一道沥青漆或面漆 4. 在180～200℃下烘干30～50min 5. 冷却、检查	1. 自泳涂漆 2. 烘干

4. 轿车底盘零部件黑漆件阴极电泳涂装生产线

某轿车厂底盘零部件黑漆件阴极电泳涂装生产线，主要是底盘结构件的前处理和阴极电泳涂装任务。

生产纲领为三班制30万套，设备利用率按90%计算，挂具框尺寸为2 200mm×1 000mm×1 600mm，前处理及电泳采用自行葫芦，烘干室采用地面输送链运输。

前处理、电泳及电泳后清洗采用全浸或喷浸结合的处理方式，槽液加热源为蒸汽，烘干室能源为天然气（表11-6）。

表11-6　汽车黑漆件阴极电泳涂装生产线的工艺过程

序号	工序名称	处理时间/s	温度（℃）	喷淋压力（mPa）
1.	热水洗（槽内喷）	60	40～50	0.1～0.2
2	预脱脂（槽内喷）	120	55～65	0.1～0.2
3*	脱脂	180	55～65	
4	水洗1	30	常温	0.1～0.2
5	水洗2	30	常温	
6	表调	60	常温	
7*	磷化	180	40～50	
8	水洗3	30	常温	0.1～0.2
9	水洗3出槽喷	10	常温	0.08～0.1
10*	循环去离子水洗	30	常温	
11	新鲜去离子水出槽喷洗	10	常温	0.06～0.08
12	阴极电泳	180	28±1	
13	0次UF水洗	10	常温	0.06～0.08
14	UF1水洗	30	常温	0.06～0.08
15	UF2水洗	30	常温	0.06～0.08
16	新鲜UF水出槽喷洗	10	常温	0.06～0.08
17	循环去离子水洗	10	常温	
18	新鲜去离子水出槽喷洗	10	常温	0.06～0.08
19	转挂到地面链			
20	烘干	30min	180（180～200 ℃可调）	

注：*重点系统工序

5. 车架涂装前处理电泳涂装线

国内某商用车公司的车架涂装前处理电泳涂装线项目生产纲领为5万辆/年，节拍为5min/件，车架最大尺寸为11 575mm×890mm×530mm，工件最大质量为1 571kg。项目应用于重卡车架的电泳涂装。

CamScanner

1）输送形式：车架涂装的整体布局（图11-1）为前处理及电泳槽呈横向布置，全线设上件、预脱脂、脱脂、水洗、磷化、电泳、沥水、下件等17个工位，工件输送为步进式。

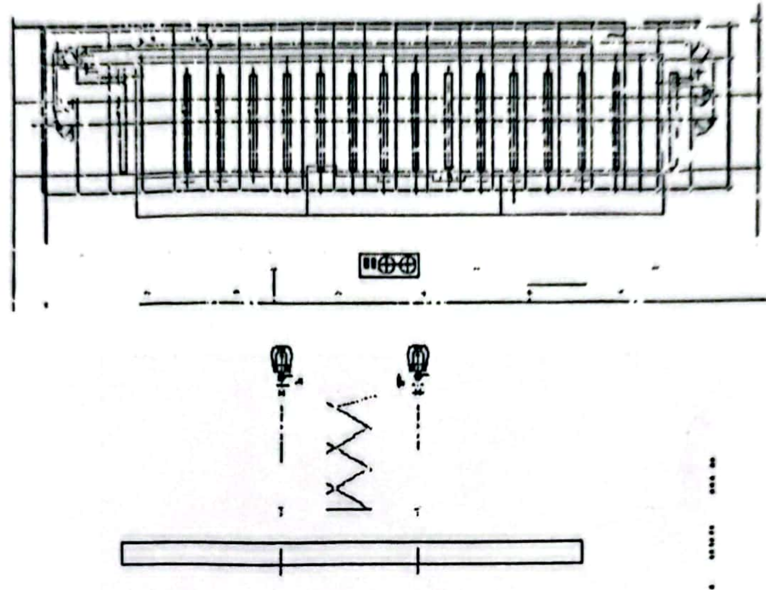


图11-1　车架电泳涂装线的整体布局

2）输送结构：双轨积放链+电动葫芦 横向同步步进式（单轨纵向返回）。

a）根据车架涂装的工艺需要（图11-2和图11-3），全线配置12台载物小车，载物车采用四车组形式，其中前承载组由前后小车加承载梁组成，后承载梁同样由前后小车加承载梁组成，在前后承载梁之间增加平衡承载梁。

b）在平衡承载梁两端下方各悬挂一只额定载荷为2t的电动葫芦，两葫芦水平相距3 500mm，电动葫芦升降速度为6m/min。此结构形式保证了载物车的最大的理论承重量可达4 000kg。

c）载物小车运行平稳可靠并保证安装在承载梁上的集电装置平稳取电。设备启动前，12台载物小车均纵向积放在单轨返回段上。设备启动后，上件工位发出放车指令，第一台载物小车驶离积放段

CamScanner

到双轨段。前、后小车组份别进入各自轨道，组成状态由前后排列变成左右对称排列，其下方与之连接的平衡承载梁则由纵向变成横向。在链条推头的驱动下横向同步前进，集电器也随之进入滑触线槽。

d）当到达上件工位后，停止器使载物车停止。电气控制系统通过滑触线控制电动葫芦下降挂取工件，工件上升到设定高度后停止器打开，载物车前行到下一个工位停止后，电动葫芦自动下降到设定高度停止。

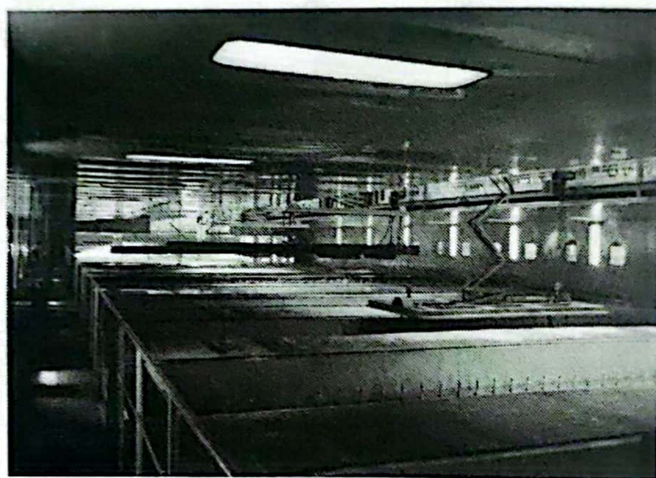


图11-2　车架涂装输送线在工艺段按工艺要求操作



图11-3　已经涂装好的车架

CamScanner

e）当到达设定的工艺时间后自动上升，再前行到下一个工位进行工艺操作，如此按照电气编程重复完成：停止—下降—上升—前行……直到完成全部17个工位。完成电泳后的工件下落到地面翻转链上进行烘干和冷却。而完成工艺操作后的载物车的前后小车组先后进入单轨纵向返回到储存段等待下一个循环。

f）电气控制系统采用PLC集中控制方式，为方便于对系统进行调试、监控和生产过程中的动态模拟，系统配置触摸屏。在程序设计上有系统互锁、系统自检、故障诊断、报警和系统联控等。

g）系统在上下件、脱脂、磷化、电泳工位设置按钮站，按钮站包括自动和手动转换按钮、控制按钮、急停开关，方便在调试和故障情况下应急处理，同时每个停车工位都留有信号接口，供前处理电泳电气控制系统和烘干冷却电气控制系统连锁使用。

第二节　客车整体电泳应用技术

受新能源、校车、公交旅游、海外出口等产业政策的引导带动，中国客车在积极嫁接引进国外先进制造技术的同时，受价格优势及经营环境的影响，中国客车工业近年来呈现快速增长的良好态势，主流客车企业的产销规模再度提升，超万辆的新客车生产基地异军突起，产品远销至东南亚、中东、非洲、南美、俄罗斯及欧美等国家或地区，中国成为全球最大的客车生产和消费市场，保持着全球客车产销的领导地位。

一直靠采用手工喷涂溶剂型涂料的传统作业模式，难以确保骨架型钢内腔、贴合面、焊缝等部位的防腐质量，严重影响客车防腐水平的整体提高。电泳工艺虽在乘用车领域推行应用多年，并且技

术也很成熟、完善，但客车生产一直由于受“经济批量”制约而未得到应用。随着产销量及市场覆盖区域的进一步扩大，客车产品防腐需求日益提高，客车整体电泳项目（图11-4）近年来成为众多客车企业争先比拼的工程，虽然其投资大、系统复杂，但对产品制造工艺升级、整车防腐质量的控制提升至关重要。

1. 典型工艺流程与技术优势、发展趋势

（1）典型工艺流程

流程1：预处理→高压水洗→脱脂→水洗1→表调→磷化→水洗2→纯水洗1→CED电泳→超滤水洗→纯水洗2→烘烤→强冷

流程2：预处理→高压水洗→喷淋预脱脂→脱脂→水洗1→水洗2→表调→磷化→水洗3→水洗4→纯水洗1→CED电泳→超滤水洗1→超滤水洗2→纯水洗2→烘烤→强冷

第1种流程相对比较简单，投资及占地规模较小，但存在车体表层清洁不净及槽液污染问题，加强槽液维护及适当延长节拍处理时间，可应用于年产能在万辆车以内的生产线。



金旅客车电泳—双轨输送线



宇通客车电泳—行车输送线

图11-4　客车电泳涂装输送设备

（2）整车电泳漆工艺优势

a）基本无防腐死角及盲区，型钢内腔及贴合面涂覆严密。

b）涂膜均匀、连续，耐蚀性优异。

c）可实现自动化，生产效率高。

d）涂料利用率高，水性环保、无火灾隐患。

2.客车电泳线的特征

1）为容纳整个车身，电泳槽容积接近400m^3，槽液消耗更新周期较长。

2）型钢等腔盒式结构及贴合面较多，需设置足够多的流液孔及使用高泳透率的电泳漆。

3）前处理、电泳工序相对较少，电泳槽液的抗污染性要好（油污及电解质）。

4）车身材质多样（热/冷轧钢板、电/热镀锌板、铝板等），因此涂装用材适应性要好。

5）生产管理粗放，间歇式生产，自动化程度相对较低，施工窗口较宽。

3. 工艺孔的设置

1）工艺孔按功能可分为流液孔、排气孔、防电磁屏蔽孔，所有工艺孔兼具防电磁屏蔽的功能，而部分防电磁屏蔽孔又承担排气孔的功能。在确保骨架强度的前提下，型钢件需设置足够多的工艺孔。工艺孔的设置合理与否是确保进入腔/盒式结构内的液体能否及时流出（在1min内型钢内腔的液体应能完全流出），不产生串槽，确保电泳槽液稳定性，同时提高电泳漆泳透力，满足内腔涂膜性能的关键因素。

2）整车横梁或纵梁工艺孔必须设置于型钢的上下表面，兼流液、排气、防电磁屏蔽等功能于一体，型钢底部如存在装有封板的结构需将部分工艺孔上下打通，以防存液，如轮罩上封板结构；立梁工艺孔为避开被蒙皮或钣金件所覆盖，一般开口朝向设置于与电极布置呈平行的方向，即型钢的侧面，但对于并焊相联接的型钢立柱其开口方向需置于组合立柱的外侧或朝向车内，以防被堵塞；斜

头立梁由于需考虑受力强度等因素，端部工艺孔需设置于斜梁与平梁成钝角的一侧，由于单体型钢制件在加工过程中不便于识别在整车中的焊接状态，工艺孔的布置与分布需在设计图纸中进行明确标示，防止出现工艺孔漏/错打及被堵现象。

3）型钢端部中心位置全部设置为半圆形长槽冲孔，且由于端部应力比较集中，均单面设孔，非贯通式；设置的原则为确保液体能够及时完全流出，且不被蒙皮或其他钣金件所覆盖，同时焊接时应避开工艺孔周边，以防堵塞。

4. 整车用材要求

1）由于电泳漆需在至少160℃以上的高温进行烘烤才能成膜，因此电泳漆前不能装配玻璃钢、塑料、气撑杆等不耐高温的部件，如有需要应调整至电泳后装配。但考虑施工方便性，前后围蒙皮应尽量选用铁制冲压蒙皮。

2）仓门粘接密封胶采用耐高温胶粘剂，防止烘烤过程中产生过度收缩、开裂及粘接强度下降等问题，厦门金旅采用耐高温双组份结构密封胶；焊装用丁基胶带及电泳前用密封胶需验证其耐高温性能，防止高温失效。

3）改善焊装车间蒙皮装配工艺，减少蒙皮焊接预应力，确保电泳烘烤对蒙皮平整度不产生明显影响。

4）不能采用钝化型的镀锌钢板，槽液不能完全润湿其表面，影响漆前处理及电泳效果。

5）在不影响合车装配的前提下，底盘合车工序所焊接的部件尽量移至电泳前施工，如必须在后工序装配但对外观颜色无要求的部件可采用悬挂方式置于车内与整车同时进行电泳，以充分利用电泳线资源，同时涂装完工后再装配的件尽量采用铆接+粘接或螺纹连接的方式，尽量减少因焊接对漆膜所带来的损伤；全承载式车身应全面推行漆后机装工艺，减少带漆件焊接，提高焊缝部位防腐质量。

CS CamScanner

6）由于客车车体较大、结构复杂，且选用板材（铝板、镀锌板、钢板）及规格（厚度不一致）种类较多，板材表面的升温速率存在一定差异，为避免产生过烘烤或烘烤不透而影响漆膜性能，电泳车身进入烘干室应采取缓慢升温的方式，而不能升温过快，因此烘烤时间设置（含进出车及升温、保温时间），一般控制在50min左右（表11-7）。

表11-7　客车企业电泳工艺常见施工及质量问题

序号	问题描述	规避措施
1	预脱脂采用喷淋方式，工作槽周边雾气较大，易损坏输送线	采用常温脱脂及低雾化喷嘴，同时加大排风
2	脱脂、磷化工序出现干燥斑痕	设置出槽喷淋、选用低温前处理剂
3	脱脂到磷化间出现工序间返锈	槽内添加防锈剂，缩短车体槽外停留时间
4	钝化镀锌板表层润湿不良	车身选用非钝化镀锌板
5	磷化槽出现絮状磷化渣，导致槽液报废	选用适合复合板材的磷化剂（含氟化物活性剂，对铝板起活化作用）
6	电泳导电夹产生电泳流挂	防止吊具、导电夹、工装器具存液
7	电泳槽液溢出槽外	设置液位报警装置及自动阀门
8	电泳液转移至备用槽后管路内有积漆	管部的最底端设置排空阀门
9	电泳槽细菌污染	制定槽液清理维护及杀菌作业指导书，严格按要求作业
10	车身进入槽内，仓门出现浮起、挂伤现象	入槽前采用工装夹具将仓门固定

续表

序号	问题描述	规避措施
11	电泳漆颗粒	加强铁屑、焊渣预处理；定期清洗磁棒；控制过滤袋尺寸，确保及时更换
12	中涂与电泳漆附着不佳	控制油漆配套性；腻子灰易黏附电泳漆表层，需选用低含粉量的原子灰

第三节　拖拉机及农业机械涂装

拖拉机和农业机械是在田间使用，在使用过程中极少进行清洗，整天曝晒在田野中，或存放在户外。其涂装的装饰性要求不像汽车涂装的要求高，但其使用条件苛刻，要求涂膜应具有优良的防腐蚀性和耐候性。

原机械部于1991年针对当时的条件颁布了JB/T5673 农林拖拉机及机具涂装通用的技术条件。标准中的涂膜质量指标与国外相比是偏低的，随着涂装材料及涂装技术的进步，拖拉机涂装工艺已有很大的改进，有些已采用了汽车涂装工艺及材料，底漆涂层也都采用阴极电泳涂装。提高了涂膜质量，满足了用户的要求。表11-8为拖拉机和农业机械的涂装工艺。

CS CamScanner

表11-8　拖拉机和农业机械的典型涂装工艺

工艺组别 工序	烘干体系		自干体系	
	1	2	3	4
涂装前表面预处理	1.去除被涂物表面的油污和锈蚀物 2.进行脱脂和磷化处理 3.用热风吹干（采用电泳涂装可不烘干）并冷却			
涂底漆	4.采用电泳涂装法涂阴极电泳漆 5.电泳漆膜烘干工艺：160～180℃，20～30min 6.冷却	4.喷涂环氧树脂系底漆 5.漆膜烘干工艺：120～140℃，30～40min 6.冷却	4.喷涂自干型合成树脂底漆或双组份环氧树脂底漆 5.在室温下自干10～16h	
涂面漆	7.采用“湿碰湿”工艺喷涂两道氨基醇酸树脂面漆 8.烘干工艺：120～140℃，30min 9.最终检查		6.喷涂一道自干型丙烯酸醇酸树脂漆 7.在室温下自干10～14h 8.再喷涂一道上述面漆 9.在室温下自干16～24h 10.最终检查	6.连续喷涂2～3道挥发型面漆（热塑性丙烯酸漆或过氯乙烯树脂面漆） 7.在室温下自干1h以上 8.最终检查

第四节　家用电器的涂装

家用电器种类繁多，较有代表性的家用电器有洗衣机、电冰箱、空调及各种厨房电器。

家用电器涂装的特点：

1）大部分是室内使用，要求外观美观，以提高其商品价值。

2）要求涂膜耐潮湿、耐腐蚀、耐污染及洗涤剂擦洗。

3）产品为民用时，要求尽可能降低涂装成本。

4）产品批量大，适应于流水线涂装。

家用电器的涂装工艺：

家用电器外壳大都是薄板件，多采用冷轧薄钢板，有些还采用铝合金板。表11-9为可供选择的各种家用电器的涂装工艺。

表11-9　家用电器的典型涂装工艺

<table>
<tr><th>工艺组别</th><th>1</th><th>2①</th><th>3</th><th>4</th></tr>
<tr><td>涂装前表面预处理</td><td>1.脱脂和磷化处理</td><td>1.脱脂、铬酸盐膜化处理
2.烘干工艺：80℃，10min</td><td colspan="2">1.脱脂和磷化处理
2.烘干工艺：（80～120）℃，10min</td></tr>
<tr><td>涂漆工艺</td><td>1.电泳涂装
2.水洗
3.烘干工艺：（160～180）℃，30min
4.打磨、擦净
5.静电喷涂面漆（热固性丙烯酸或氨基面漆）
6.手工补漆
7.烘干工艺：140℃，30min
8.最终质量检查</td><td colspan="2">1.静电喷涂丙烯酸粉末涂料或聚脂粉末涂料
2.烘干工艺：170～180℃，20min</td><td>1.涂底漆（环氧酯底漆）
2.烘干工艺：130℃，40min
3.打磨、擦净
4.涂面漆（湿碰湿喷涂二道热固性丙烯酸面漆或氨基面漆）
5.烘干工艺：140℃，30min
6.最终质量检查</td></tr>
</table>

注：①仅适用于铝合金件。

1. 洗衣机电泳涂装生产线

下面是国内某名牌洗衣机厂电泳涂装生产线的工艺过程，如表11-10。

（1）主要设计参数

产量：50万台/年

工件组合最大外形尺寸：600mm × 600mm × 800mm

工件材质：冷轧钢板（1.2mm）表面无锈蚀

表面积：3.64m^2

设计工艺速度：2.3m/min

（2）工艺流程

表11-10　洗衣机厂电泳涂装生产线的工艺过程

序号	工序名称	处理时间（s）	温度（℃）	喷淋压力（Mpa）
1	预脱脂	60	55～65	0.1～0.2
2*	脱脂	120	55～65	0.1～0.2
3	水洗1	60	常温	0.08～0.1
4	水洗2	30	常温	0.08～0.1
5	水洗2直喷	10	常温	0.08～0.1
6	表调	30	常温	0.08～0.1
7*	磷化	180	35～45	0.08～0.1
8	水洗3直排	10	常温	0.08～0.1
9	水洗3	30	常温	0.08～0.1
10	水洗3直喷	10	常温	0.08～0.1
11*	循环去离子水洗	30	常温	0.06～0.08
12	新鲜去离子水洗	10	常温	0.06～0.08
13	阴极电泳	180	28±1	
14	0次UF水洗	10	常温	0.06～0.08
15	UF1水洗	30	常温	0.06～0.08
16	UF2水洗	30	常温	0.06～0.08
17	UF3水洗	10	常温	0.06～0.08
18	循环去离子水洗		常温	0.06～0.08
19	新鲜去离子水洗		常温	0.06～0.08
20	烘干	1 800	180（180～210℃可调）	

注：*本工序采用浸渍效果更好

CamScanner

（3）涂装基本条件

槽液固体分：（18±1）%

槽液温度（℃）：28±1

施工电压：240～300V

通电方式：带电入槽，分段可调

电泳时间：3min

膜厚：内表面　12～18um

　　　外表面　18～20um

2. 电能表铁芯阴极电泳实例

年产量：1 200万件/年　（电流铁芯和电压铁芯各600万件）

涂装面积：电流铁芯0.0104㎡（42mmx35mmx12mm）

　　　　　电压铁芯0.04㎡（70mmx53mmx12.5mm）

材质：50WG800碳硅钢片，紧密铆合，表面无锈

涂装质量标准：盐雾试验480h，锐边尖角不产生锈蚀，漆膜平整光滑，附着力好，黑色。

工艺流程：前处理电泳采用自行葫芦，电泳漆烘干为地面链，小车。

1）将被涂件按工艺要求挂到专用挂具和吊架上。

2）进行涂装前处理。

a）预脱脂：碱性脱脂液喷，55～65℃，1min。

b）脱脂：碱性脱脂液浸洗，55～65℃，3min。

c）水洗1：RT，喷1min。

d）水洗2：RT，浸洗0.5～1min。

e）表调：浸0.5～1min。

f）磷化处理：40～50℃磷化液中浸3min。

g）水洗3：RT，喷1min。

h）水洗4：RT，浸洗0.5～1min。

i）纯水洗：RT，纯水浸洗0.5～1min。

3）泳涂锐边耐腐蚀型阴极电泳涂料。

a）在28℃的阴极电泳槽液中电泳3min。

b）UF液喷洗0.5～1min。

c）UF液浸洗0.5～1min。

4）将被涂件从电泳线自行葫芦上转挂到烘干线的小车上。

5）在110℃下烘干10～15min。

6）在160～180℃下烘干30～45min。

7）冷却，质量检查及卸件。

本涂装线生产节拍为6min/吊挂，每辆烘干小车上装两吊挂电泳后的铁芯，所以烘干线的生产节拍为12min/车。烘干室设为前后闸门式，每12min自动开启一次，进出一个小车，然后自动关闭。

电泳涂装因其具有高效、优质、安全、经济等优点，在机电产品及所有五金家电等金属件涂装上已获得广泛的应用。这里仅列举了部分阴极电泳涂装的应用实例，希望大家能举一反三，灵活应用。

CamScanner

附录A 石击特性值1~10的标准图片



特性值1



特性值2



特性值3



特性值4



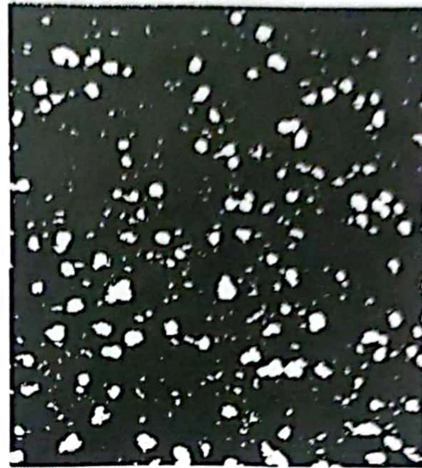
特性值5



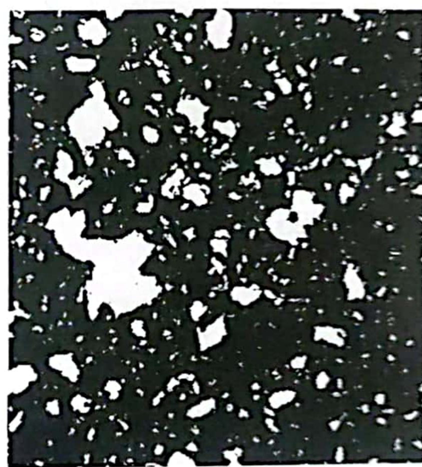
特性值6

CS CamScanner


特性值7


特性值8


特性值9


特性值10

CamScanner

附录B 电泳涂料、涂膜质量检测方法

GB/T 1724—1979（89）	涂料细度测定法
GB/T 1731—1993	漆膜柔韧性测定法
GB/T 1732—1993	漆膜抗冲击性测定法
GB/T 1733—1993	漆膜耐水性测定法
GB/T 1747.2-2008	色漆和清漆 颜料含量的测定 第2部分：灰化法
GB/T 13452.2-2008	色漆和清漆 漆膜厚度的测定
GB/T 1771-2007	色漆和清漆 耐中性盐雾性能测定
GB/T 1865—2009	色漆和清漆 人工老化及人工辐射暴露（滤过的氙弧辐射）
GB/T 6739—2006	色漆和清漆 铅笔法测定漆膜硬度
GB/T 6750—1986	色漆和清漆 密度的测定
GB/T1725——2007	色漆、清漆和塑料 不挥发物含量的测定
GB/T6753.3—1986	涂料贮存稳定性试验方法
GB 7691—1987	涂装作业安全规程 劳动安全和劳动卫生管理
GB 7692—1999	涂装作业安全规程 涂漆前处理工艺安全及其通风净化
GB/T 8264—1987	涂装技术术语
GB 8978—1996	污水综合排放标准
GB/T 9274—1988	色漆和清漆 耐液体介质的测定
GB/T 9286—1998	色漆和清漆 漆膜的划格试验
GB/T 9751—1988	涂料在高剪切速率下黏度的测定

GB/T 9754—2007	色漆和清漆 不含金属颜料的色漆漆膜之20°、60°和85°镜面光泽的测定
GB/T 13452.1—1992	色漆和清漆 总铅含量的测定 火焰原子吸收光谱法
GB 16297—1996	大气污染物综合排放标准
HG/T3335—1985	电泳漆电导率测定法
HG/T 3337—1985	电泳漆库仑效率测定法
ISO 15580：2000	色漆、清漆和漆基——水性涂料和漆基MEQ（毫克当量）测定

图书在版编目（CIP）数据

电泳涂装工艺与管理/林鸣玉，高睿，黄小勇编著．—广州：广东科技出版社，2015.9
ISBN 978-7-5359-6170-9

Ⅰ．①电… Ⅱ．①林…②高…③黄… Ⅲ．①电泳涂漆—生产工艺②电泳涂漆—工艺管理 Ⅳ．①TQ639.2

中国版本图书馆CIP数据核字（2015）第139751号

Dianyong Tuzhuang Gongyi Yu Guanli

责任编辑：姚　芸
美术编辑：林少娟　蒋　赟
设计排版：友间文化
责任校对：许　佳
责任印制：彭海波
出版发行：广东科技出版社
（广州市环市东路水荫路11号　邮政编码：510075）
http://www.gdstp.com.cn
E-mail: gdkjyxb@gdstp.com.cn（营销中心）
E-mail: gdkjzbb@gdstp.com.cn（总编办）
经　　销：广东新华发行集团股份有限公司
印　　刷：广东新华印刷有限公司
（广东省佛山市南海区盐步河东中心路23号　邮政编码：528247）
规　　格：889×1194mm　1/32　印张9　字数250千
版　　次：2015年9月第1版
2015年9月第1次印刷
定　　价：39.90元

如发现因印装质量问题影响阅读，请与承印厂联系调换。

CamScanner



中国最有价值的涂装一体化服务平台

服务理念



及时，有效，满意

顾客至上，优质服务

专业和诚信是我们的根本

创新和共赢是我们的理念

贴心关怀，全面推进『科德电泳全程无忧服务工程』

